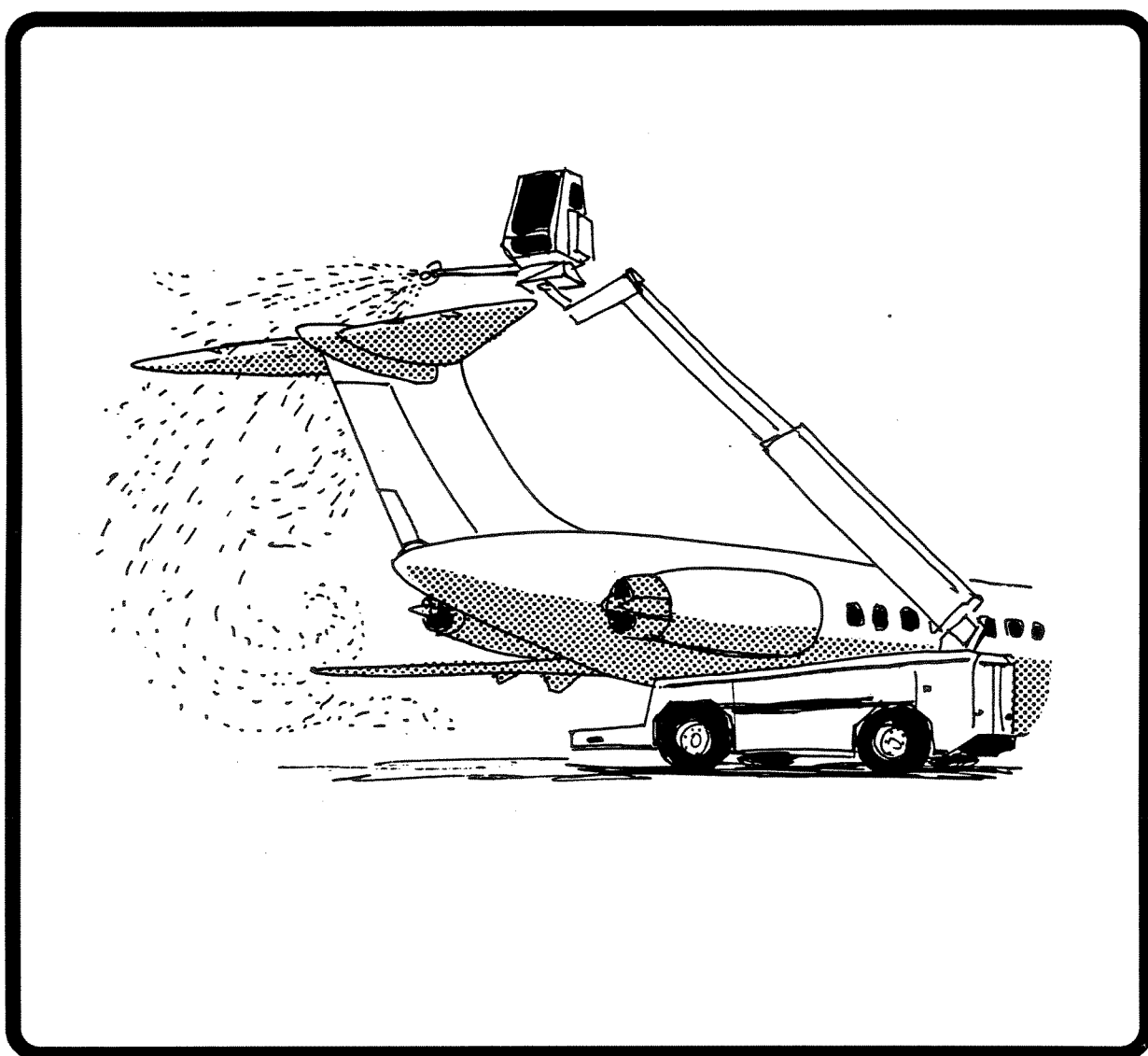


# Biologisk rensing av avisingsvæske

O-92036



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-92036	Undernr.:
Løpenr.: 2737	Begr. distrib.:

<b>Hovedkontor</b> Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (47 2) 23 52 80 Telefax (47 2) 95 21 89	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47 41) 43 033 Telefax (47 41) 44 513	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47 65) 76 752 Telefax (47 65) 78 402	<b>Vestlandsavdelingen</b> Brevikveien 5 5035 Bergen - Sandviken Telefon (47 5) 95 17 00 Telefax (47 5) 25 78 90	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b> Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47 83) 85 280 Telefax (47 83) 80 509
--	---	--	--	--

<b>Rapportens tittel:</b> <b>Biologisk rensing av avisingsvæske</b>	<b>Dato:</b> 03.06.92	<b>Trykket:</b> NIVA 1992
	<b>Faggruppe:</b> Miljøteknologi	
<b>Forfatter(e):</b> Kristin Mørkved Morten Laake Gunnar Fr. Aasgaard	<b>Geografisk område:</b> Akershus	
	<b>Antall sider:</b> 38	<b>Opplag:</b>

<b>Oppdragsgiver:</b> Luftfartsverket	<b>Oppdragsg. ref. (evt. NINF-nr.):</b> Kontrakt nr. 43209.284.1
--	---

## Ekstrakt:

Vinterstid må fly og bane sprøytes med spesiell væske for å hindre isdannelse. Kilfrost (fly) og Clearway (bane) er de mest brukte avisingsvæskene i Norge i dag. Disse har begge et svært høyt innhold av organisk stoff, og oppsamlet avisingsvæske må renses før utslipp til resipient.

På bakgrunn av laboratorieundersøkelser og systemanalyse er biologisk rensing ved hjelp av aktiv slam vurdert. Det anbefales en sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen før videreføring til kommunalt renseanlegg. Svært stor organisk belastning medfører behov for store lufttanks volumer. Store hydrauliske belastningsvariasjoner i overvannsavrenningen medfører i tillegg behov for separat utjevningsbasseng.

Rapporten gir kvalitative anbefalinger og orienterende volumbehov for det biologiske rensetrinnet.

Undersøkelser må gjennomføres i større skala før designkriterier kan bestemmes.

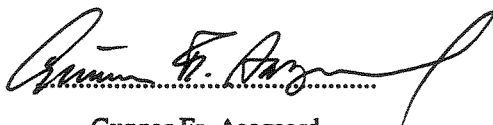
4 emneord, norske

1. Biologisk rensing av avløpsvann
2. Aktiv slam
3. Avisingsvæske
4. Luftfart

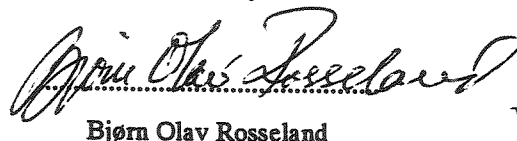
4 emneord, engelske

1. Biological treatment of wastewater
2. Activated sludge
3. De-icing
4. Airports

Prosjektleder

  
Gunnar Fr. Aasgaard

For administrasjonen

  
Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-2109-3

## FORORD

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har av Luftfartsverket fått i oppdrag å undersøke om avisingsvæsken Kilfrost kan renses i et lavt belastet aktivslamanlegg. Prosjektet inngår som en delutredning under Hovedflyplassprosjektet i forbindelse med planlegging av ny hovedflyplass for Osloområdet.

Prosjektleder hos Luftfartsverket har vært Knut Solnørdal, med Thorbjørn Damhaug som saksbehandler. Andre sentrale støttespillere har vært Erik Ugstad og Kjersti Dagestad.

Prosjektet ved NIVA har vært utført av et team bestående av:

- Forskningsleder Gunnar Fr. Aasgaard (prosjektleder)
- Forskningsleder Morten Laake (ansvarlig laboratorieforsøk)
- Forsker Kristin Mørkved (ansvarlig systemanalyse)
- Forsker Harry Efraimsen (utførelse av laboratorieforsøk)
- Forskningsassistent Liv Bente Skancke (utførelse av laboratorieforsøk)
- Sekretær Lise Tveiten/Liv Aaserud

NIVA vil takke Luftfartsverket for godt samarbeid ved prosjektgjennomføringen.

Vi takker også for nyttig bistand fra Harald Damhaug hos Taugbøl & Øverland a.s.

Oslo, 3. juni 1992

Gunnar Fr. Aasgaard

## INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	2
INNHALDSFORTEGNELSE	3
SAMMENDRAG	4
1. PROBLEMSTILLING	5
2. BELASTNINGSDATA	7
2.1 Årlig forurensningsproduksjon	7
2.2 Tidsvariasjoner	8
2.3 Dimensjonerende belastning	9
3. LABORATORIEUNDERSØKELSER	11
3.1 Forsøksoppsett	11
3.2 Forsøksbetingelser	11
3.3 Resultater	14
3.3.1 Nitrogenbehov ved respirometer-forsøk	14
3.3.2 Renseeffekt ved reaktorforsøk	14
3.3.3 Mikroskopisk analyse av slam	17
3.4 Diskusjon av resultatene	17
4. SYSTEMANALYSE	19
4.1 Rammebetingelser	19
4.2 Separat rensing av forurenset overvann	21
4.3 Sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen	22
4.4 Sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen med kommunalt avløpsvann	25
5. PROSESSVALG	27
5.1 Utjevning	27
5.2 Biologisk rensetrinn	27
5.3 Prosesskommentarer	28
6. REFERANSER	30
APPENDIX	31
1. DATA FOR TEST OPPLAGGET	
2. DATA FRA DRIFTEN AV FORSØKSREAKTORENE	

## **SAMMENDRAG**

Avisingsvæskene Kilfrost (for fly) og Clearway (for bane) har begge et svært høyt innhold av organisk stoff, samtidig som næringssaltinnholdet er neglisjerbart. Det høye karboninnholdet medfører behov for (biologisk) rensing før utslipp til resipient. Mangelen på næringsalter innebærer behov for tilførsel av ekstern nitrogen og fosfor. Alternativt kan dette skaffes gjennom sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen.

Det er gjennomført laboratorieundersøkelser for å finne ut om avisingsvæskene Kilfrost og Clearway kan behandles i et aktivslam anlegg. Avløpsvannets sammensetning (Kilfrost/Clearway/spillvann), nitrogenkonsentrasjonen, temperatur og oppholdstid har vært de viktigste parametrene. Gode renses effekter ble oppnådd ved temperaturer på avløpsvannet helt ned til 2°C og 16 timers oppholdstid. Resultatene benyttes som en bekreftelse på at avisingsvæske kan behandles med et aktivslam anlegg.

Systemanalysen konkluderer med at sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen synes å gi den renseteknisk og ressursmessig beste løsningen. Store variasjoner i hydraulisk belastning medfører imidlertid behov for separat utjevning av det forurensete overvannet. Nødvendige volumer for såvel utjevning, biologisk rensing og slamseparering (sedimentering) vil bli store for den forventede belastning. Det tallgrunnlag som benyttes for en overslagsmessig volumberegning, må imidlertid etterprøves i større skala før designkriterier kan bestemmes.

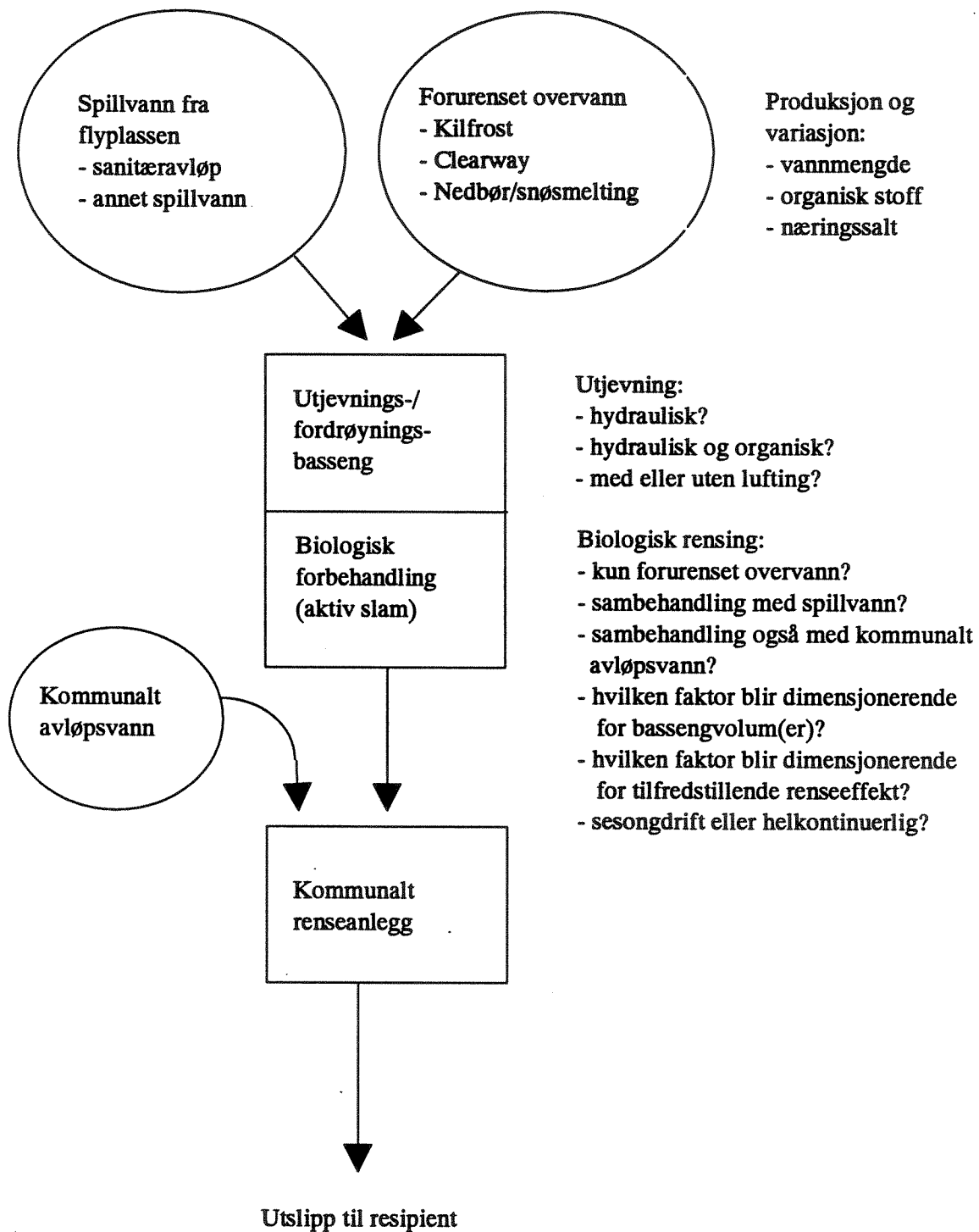
## 1. PROBLEMSTILLING

Vinterstid må fly og bane sprøytes med spesiell(e) væske(r) for å hindre isdannelse. Kilfrost (fly) og Clearway (bane) er de mest brukte avisingsvæskene i Norge idag. Kilfrost påsprøytes på spesielle, avgrensede avisingsplattformer. Oppsamlet avrenning føres dels til gjenvinning, og dels til kommunalt avløpsnett. Noe avisingsvæske fra banene (Clearway) vil også tilføres dette oppsamlingssystemet for forurenset overvann.

Kilfrost (tilnærmet ren Glykol) og Clearway (Kaliumacetat) har begge et svært høyt innhold av organisk stoff, samtidig som næringssaltinnholdet er neglisjerbart. Det høye karboninnholdet medfører behov for rensing før utslipp til resipient. Mangelen på næringssalter innebærer imidlertid en vesentlig begrensning vedr. tilgjengelige rensetekniske løsninger. Dette vil kunne løses ved sambehandling med øvrig spillvann fra flyplassen, og evt. ved sambehandling med kommunalt avløpsvann i regionen. Disse forholdene er vurdert i prosjektet, og en anbefaling er gitt i kap. 5.

Rensing av avløpsvann med høyt innhold av organisk stoff bør utføres ved hjelp av biologisk(e) rensesprosess(er). Slike prosesser er temperaturfølsomme, og får redusert effekt ved lave temperaturer. Oppsamlet avisingsvæske vil i utgangspunktet ha svært lav temperatur. Laboratorieforsøkene har derfor blitt gjennomført ved ulike temperaturer innenfor antatt variasjonsområde.

En skissemessig fremstilling av prosjektets ulike problemstillinger er vist i figur 1.



Figur 1. Prinsippskisse med aktuelle problemstillinger.

## 2. BELASTNINGSDATA

En hovedflyplass på Gardermoen vil generere to hovedtyper avløpsvann som planlegges tilført kommunalt avløpsnett:

- Spillvann; sanitærvløpsvann fra ekspedisjonsbygninger og flytoaletter samt delstrømmer fra verksted, catering osv.
- Forurenset overvann fra avisingsplattformer og baner.

Dimensjonerende belastning er vurdert på bakgrunn av årlig forurensningsproduksjon og tidsvariasjoner.

### 2.1. Årlig forurensningsproduksjon

Basert på mottatt datagrunnlag (litteraturhenvisning er gitt i teksten) er årlige mengder avløpsvann beregnet.

#### Spillvann

Den totale spillvannsmengden beregnes på grunnlag av en dimensjonerende belastning på 12 millioner passasjerer pr. år. Med en omregningsfaktor på 0,45 pe/passasjer (AVIA-PLAN, 1991) og en spesifikk forurensningsproduksjon på hhv. 2 gP, 12 gN og 22 g TOC pr. døgn (ANØ, 1991) vil spillvannet i et normalår bestå av:

- Vannmengde: 660.000 m<sup>3</sup>/år, basert på 55 l pr. passasjer pr. døgn (AVIA-PLAN, 1991)
- Fosfor: 10.800 kg Tot-P/år
- Nitrogen: 64.800 kg Tot-N/år
- Organisk stoff: 118.800 kg TOC/år  
ca 404.000 kg COD/år, basert på erfaringsdata for forholdet TOC/COD.  
(ANØ,1985; METCALF & ØVERLAND, 1992).

#### Forurenset overvann

Beregnet forurensningsproduksjon fra den andelen forurenset overvann som antas å bli tilført avløpsnettet er vist i tabell 1.



Tabell 1. Årlige mengder organisk stoff og vannmengde fra forurenset overvann i avisingsperioden.

Forureningskilde	COD	Q	Konsentrasjon	
	kg/år	m <sup>3</sup> /år	kg COD/m <sup>3</sup>	%
Glykol (Kilfrost)				
- rejekt gjenvin.	48.000	600	80	5
- fra avisingsplatf.	173.000	36.300	4,8	0,3
- fra baner	307.000			
Sum:	528.000			
Kaliumacetat (Clearway)				
- fra "glykolområder"	24.000	159.400	2,1	0,17
- fra "øvrige områder"	96.000	254.000	0,4*	0,13
Sum:	120.000			
Totalt Kilfrost+Clearway	648.000	450.300**	1,5***	0,16

\* Dette ansees som et konservativt anslag fordi nedbør vil fortynde denne løsningen ytterligere. (Antar at Q er konstant, begrenset f.eks. av oppsamlingssystemet).

\*\* Forutsatt fullstendig utjevning, ved f.eks. god innblanding av rejektstrøm i hovedstrøm.

\*\*\* Ca. 80 % bidrag fra glykol og ca. 20 % bidrag fra kaliumacetat

## 2.2. Tidsvariasjoner

Belastning fra hhv. spillvann, avisingsvæske (glykol + kaliumacetat) og nedbør/snøsmelting er vurdert hver for seg.

### Spillvann

Spillvannsproduksjonen kan tenkes å følge karakteristiske belastningsendringer over året (sesonger), ukedager og døgn, avhengig av variasjoner i f.eks. avgangshyppighet, vedlikeholdsprogram eller øvingsrutiner. Disse variasjonene antas imidlertid å være relativt uavhengig av variasjonen i forbruket av avisingsvæske. For systemanalysen i dette prosjektet er derfor spillvannsproduksjonen forutsatt å være konstant.

Blandingsforholdet mellom spillvann og avisingsvæske vil imidlertid være viktig i en driftsfase, kfr. den påviste sammenhengen mellom nitrogen og karbon (kap. 4.1). Særlig situasjonen med lav spillvannsproduksjon antas å kunne bli kritisk, på grunn av faren for nitrogenbegrensning og tap av mulig temperaturhevingeffekt. For å ivareta denne minimumssituasjonen, og fordi spillvannets variasjoner ikke forventes å bli hydraulisk dimensjonerende, er den dimensjonerende spillvannsmengden beregnet uten sikkerhetsfaktor. (En standard dimensjonering vil baseres på en sikkerhetsfaktor på to). En nøyere vurdering av variasjonen i spillvannsproduksjonen bør derfor gjennomføres før endelig dimensjoneringsarbeid igangsettes.

Bidraget fra spillvannet blir, for bruk ved systemanalysen:

- Vannmengde:	$Q_{dim, SP}$	=	1.810 m <sup>3</sup> /døgn
- Fosfor:	$P_{dim, SP}$	=	30 kg P/døgn
- Nitrogen:	$N_{dim, SP}$	=	178 kgN/døgn
- Organisk stoff:	$C_{dim, SP}$	=	326 kg TOC/døgn og 1.110 kg COD/døgn

### Avisingsvæske

Dimensjonerende vannmengde er beregnet ved at årstotalen er fordelt på en 120 døgns avisingsperiode og deretter pålagt en sikkerhetsfaktor på 2.

Erfaring fra drift av eksisterende flyplasser i Norge gir en dimensjonerende forurensningsbelastning på 20% av årsforbruket jevnt fordelt over 3 døgn (Taugbøl & Øverland, 1992).

Bidraget fra glykol (Kilfrost) og kaliumacetat (Clearway) blir dermed:

- Vannmengde:	$Q_{dim, A}$	=	7.500 m <sup>3</sup> /døgn
- Organisk stoff:	$C_{dim, A}$	=	12.700 kg TOC/døgn og 43.200 kg COD/døgn

Avisingsvæsken inneholder ingen vesentlige mengder næringsstoff.

### Nedbør/snøsmelting

I mottatt underlag (Luftfartsverket, 1991) er dimensjonerende nedbør i løpet av et døgn satt til 80 mm. Videre i samme notat er oppgitt at hhv. 100 mm (regn) og 200 mm (snø) nedbør antas å komme i avisingsperioden. Sammenholdt med tidligere oppgitte årlig avrenning blir dimensjonerende belastning,  $Q_{dim, N} = 40.400 \text{ m}^3/\text{døgn}$ .

## 2.3. Dimensjonerende belastning

Avising av fly/baner vil foregå i kjølige perioder og det kan ventes stort forbruk ved temperaturer rundt nullpunktet. I slike perioder vil det være naturlig å forvente liten overflateavrenning. Sammenfall i tid for maksimalt forbruk av avisingsvæske og maksimal overflateavrenning regnes derfor ikke som særlig sannsynlig. Disse to forurensningskildene vil forøvrig ha ulik påvirkning av anleggsdimensjoneringen:

- Forbruket av avisingsvæske vil, på grunnlag av det høye innholdet av organisk stoff, bli dimensjonerende for bassengvolumene for den *biologiske rensingen*.
- Tilførselen av overvann fra nedbør/snøsmelting vil bli dimensjonerende for avløpsledning og *fordrøyningsvolum*.

Dimensjonerende belastning til bruk ved systemanalysen blir dermed:

-Vannmengde,  $Q_{dim}$ :

$$Q_{dim} = Q_{dim, SP} + Q_{dim, A} = (1.810 + 7.500) \text{ m}^3/\text{døgn} = 9.310 \text{ m}^3/\text{døgn} \\ = \underline{9.300 \text{ m}^3/\text{døgn}}$$

- Fosfor,  $P_{dim}$ :

$$P_{dim} = P_{dim, SP} = \underline{30 \text{ kg Tot-P/døgn}}$$

- Organisk stoff,  $C_{dim}$ :

$$C_{dim, TOC} = C_{dim, SP} + C_{dim, A} = (326 + 12.700) \text{ kg TOC/døgn} \\ = 13.026 \text{ kg TOC/døgn} = \underline{13.000 \text{ kg TOC/døgn}}$$

$$C_{dim, COD} = (1.110 + 43.200) \text{ kg COD/døgn} = 44.310 \text{ kg COD/døgn} \\ = \underline{45.000 \text{ kg COD/døgn}}$$

### 3. LABORATORIEUNDERSØKELSER

Målsetningen med laboratorieundersøkelsene var å;

- fremskaffe data om hvilken renseeffekt som kan oppnås med de aktuelle avisingskjemikaliene,
- hvordan drift ved meget lave temperaturer påvirker renseeffekten, og
- hvilket tilskudd av nitrogen og andre vekstfremmende stoffer som kreves.

#### 3.1 Forsøksoppsett

Forsøkene ble utført i 4 aktivslam-enheter med et reaktorvolum på ca. 900 ml og sedimentasjonsenhet på ca. 300 ml (Fig. 2). Enhetene var plassert inne i en termostatregulert inkubator som tillot en meget nøyaktig ( $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ) temperaturregulering. Hver reaktor tilsatt Kilfrost var utstyrt med pH-elektrode koplet til regulator for dosering av NaOH (0.1 N), og pH ble holdt konstant på  $7.7 \pm 0.2$ . I reaktorer med blanding av Kilfrost og Clearway holdt pH seg stabilt. Som avløpsvann ble det benyttet et syntetisk kloakkvann (OECD Synthetic Sewage) tilsvarende ca. 10 mg DOC/l, men modifisert for å gi minimalt N-tilskudd (Appendix 1 gir detaljer om forsøksmetodene og oppsettet). Nitrogen ble deretter tilsatt som ammonium-klorid til varierende konsentrasjoner avhengig av forsøksbetingelsene.

Avløpsvannet ble deretter tilsatt propylenglykol (Kilfrost) med eller uten K-acetat (Clearway) til å gi et tilskudd på 110 mg DOC/l, og ble tilført hver reaktor via en 4-kanals slangepumpe. Hydraulisk oppholdstid i reaktorene er beregnet på grunnlag av oppsamlet og uttatt væskevolum. Reaktorene ble inokulert med luftet kommunalt avløpsvann og slam fra en forsøksreaktor i laboratorieskala drevet på syntetisk avløpsvann. Slamkonsentrasjonen i reaktorene ble forsøkt holdt konstant innen et intervall på 0.8-1.2 g VSS/l ved manuelt uttak av slam ved behov. Slam-mengde og konsentrasjon ble målt ved filtrering av et kjent volum over et forhåndsveit membranfilter og tørket ved  $105^{\circ}\text{C}$  i 2 timer.

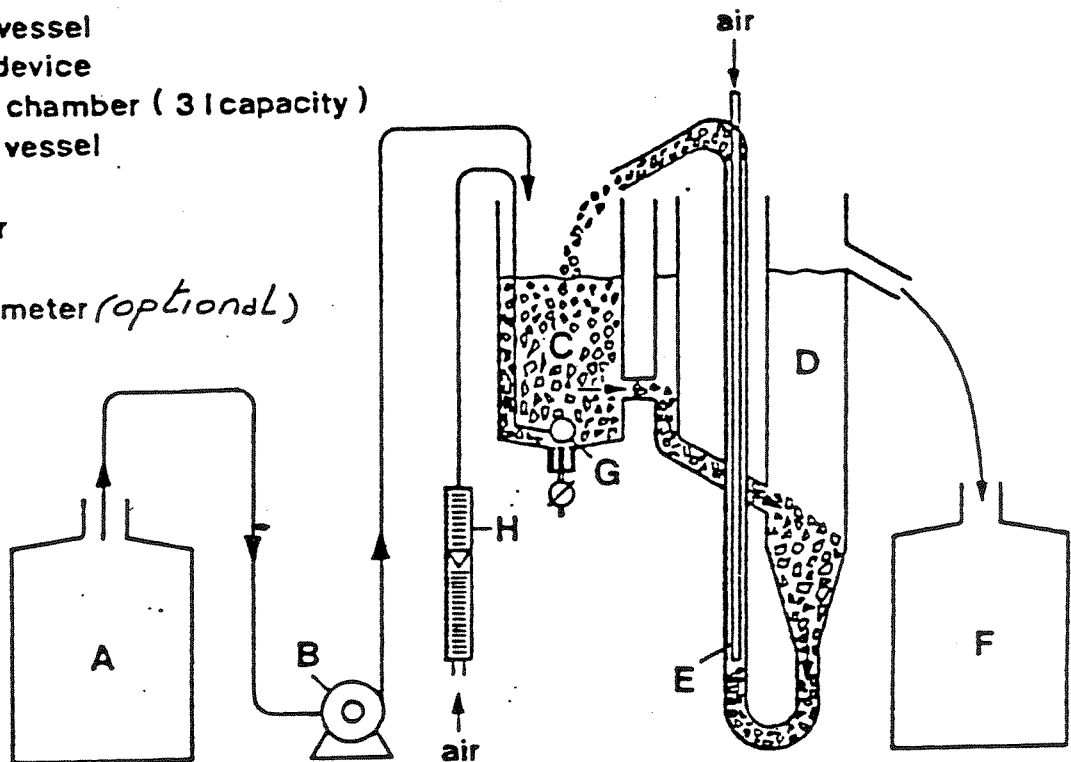
#### 3.2 Forsøksbetingelser

Forsøket ble utført ved at alle 4 reaktorer (R1-4) ble kjørt til stabil drift etter hver endring i forsøksbetingelsene og driftsparametre deretter registrert 3-4 ganger over en 4-8 dagers periode, avhengig av forløpet. Forsøksbetingelsene er gjengitt i Tabell 2.

Forsøkene ble startet opp ved  $10-12^{\circ}\text{C}$ , men etter kort tids drift viste det seg at det ikke var problematisk å oppnå tilnærmet 100 % renseeffekt for propylenglykol ved denne temperaturen. Det ble derfor besluttet å senke temperaturen til  $5-6^{\circ}\text{C}$ , som representerer et mer margintal temperaturområde for prosessen, og i siste fase ble reaktorene presset ned til  $2^{\circ}\text{C}$ .

Grunnlaget for beregningen av nitrogenbehovet ble lagt gjennom et tilsatsforsøk med gradvis økende konsentrasjon i en respirometrisk nedbrytbarhetstest. Optimal tilsats ble beregnet til 10 mg/l ammonium-N ved et substratnivå på 110 mg/l DOC (se neste avsnitt). Doseringen til reaktorene ble derfor øket fra henholdsvis ingen tilsats og 5 mg N/l i første forsøksserie, til henholdsvis 8 og 12 mg N/l i de siste 4 forsøksseriene. Disse tilsatsene skal teoretisk gi henholdsvis et lite (20%) underskudd og overskudd av nitrogen i forhold til karbonmengden.

- A = storage vessel
- B = dosing device
- C = aeration chamber ( 3 l capacity )
- D = settling vessel
- E = air lift
- F = collector
- G = aerator
- H = air flow meter (optional)



Figur 2. Skisse av laboratorie skala aktivslam reaktorer benyttet under forsøkene.

Tabell 2. Forsøksbetingelser ved drift av aktivslam-reaktorer i laboratorieskala.

Reaktor	Oppholdstid	Avisingsvæsker	Nitrogentilsats	Temperatur
R 1	23- 25 TIMER	100 % Kilfrost	-	5.6-5.7 ° C
R 2			+ 5 mg/l N	
R 3		75 % Kilfrost +	-	
R 4		25 % Clearway	+ 5 mg/l N	
R 1	23- 25 TIMER	100 % Kilfrost	+ 8 mg/l N	
R 2			+ 12 mg/l N	
R 3		75 % Kilfrost +	+ 8 mg/l N	
R 4		25 % Clearway	+ 12 mg/l N	
R 1	15-16 TIMER	100 % Kilfrost	+ 8 mg/l N	
R 2			+ 12 mg/l N	
R 3		75 % Kilfrost +	+ 8 mg/l N	
R 4		25 % Clearway	+ 12 mg/l N	
R 1	12-13 TIMER	100 % Kilfrost	+ 8 mg/l N	
R 2			+ 12 mg/l N	
R 3		75 % Kilfrost +	+ 8 mg/l N	
R 4		25 % Clearway	+ 12 mg/l N	
R 1	15-16 TIMER	100 % Kilfrost	+ 8 mg/l N	2.0-2.1 ° C
R 2			+ 12 mg/l N	
R 3		75 % Kilfrost +	+ 8 mg/l N	
R 4		25 % Clearway	+ 12 mg/l N	

### 3.3 Resultater

#### 3.3.1 Nitrogenbehov ved respirometer-forsøk

Forsøket ble utført i standard apparatur for BOD-bestemmelse ved respirometri (ISO 9408) og forbruket av oksygen avlest hvert døgn opp til 5 døgn. Forøvrig ble det benyttet samme medium av syntetisk kloakkvann og med tilskudd av 75% Kilfrost og 25% Clearway, som beskrevet for reaktorforsøkene.

Som vist i Figur 3, øker oksygenopptaket opp til et nitrogentilskudd på ca. 10 mg N/l som ammonium-klorid, og denne verdien ble valgt som representativ for et balansert C/N-forhold (120:10) ved senere reaktorforsøk.

#### 3.3.2 Renseeffekt ved reaktorforsøk

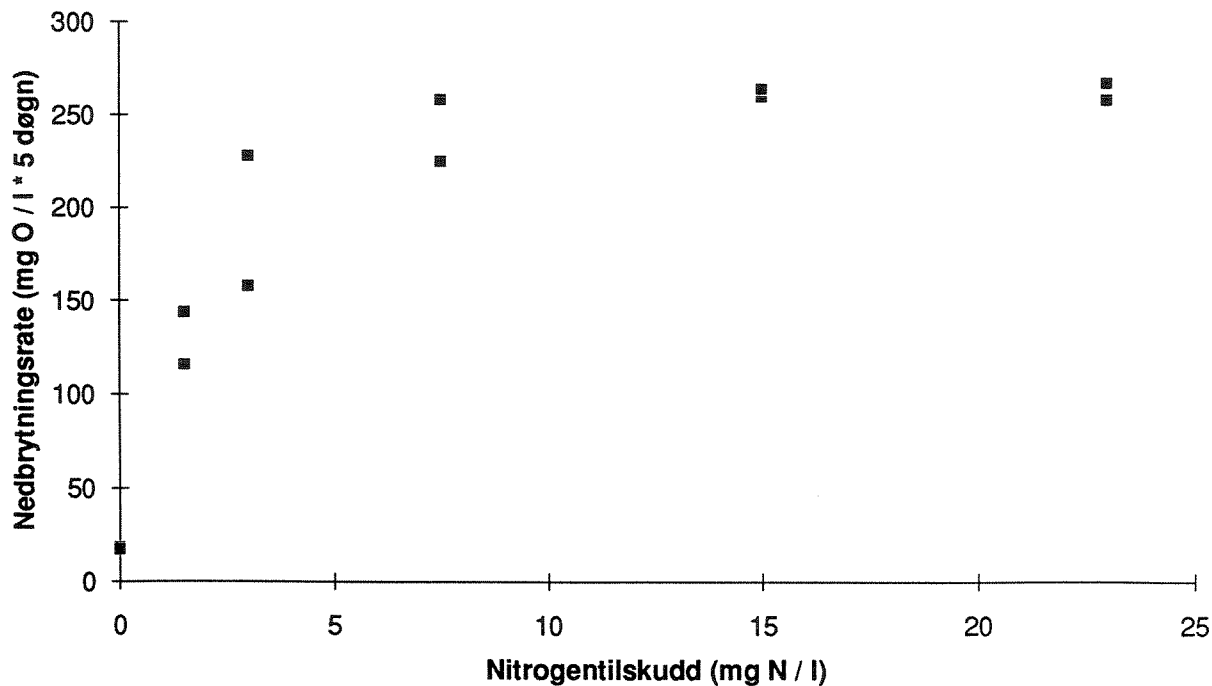
Tabell 3 oppsummerer driftsresultatene som middelværdier for gjennomstrømning, oppholdstid, rensegrad og slambelastning ved varierende nitrogentilskudd og temperatur gjennom de 5 forsøksseriene. Primærdata er gjengitt i Appendix 2.

Resultatene viser at det med hensyn på oppløst organisk karbon (DOC) er oppnådd en renseseffekt på over 90 % ved alle oppholdstider og helt ned til +2°C i reaktorer med overskudd av nitrogen (tilsatt 12 mg N/l). Svakt underskudd av nitrogen (tilsatt 8 mg N/l) medfører fra 2-10 % reduksjon av renseseffekten, størst ved korte oppholdstider og i reaktorer med propylenglykol uten tilskudd av acetat. Uten nitrogentilskudd reduseres renseseffekten til ca. 30 %.

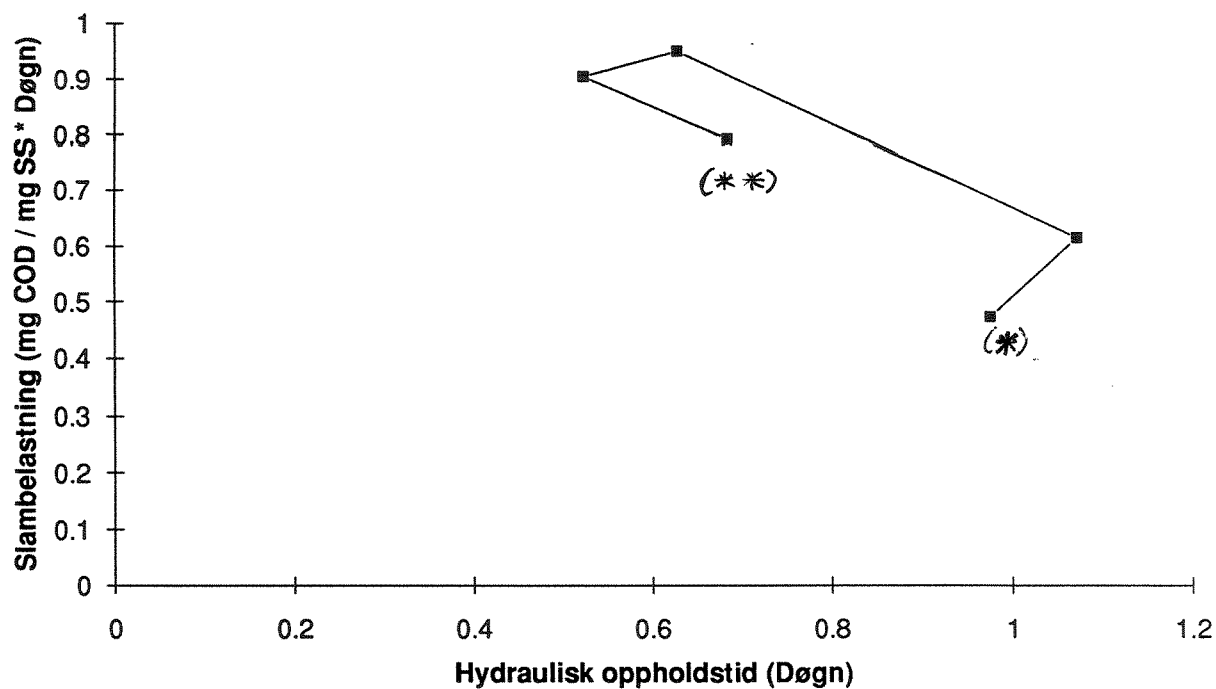
Sambehandling av Kilfrost og Clearway (propylenglykol og acetat) virker klart positivt på renseseffekten under alle forhold og har også en gunstig effekt på slamkvaliteten (se senere). Dette viser at en viss restmengde av propylenglykol vil kunne opptre i effluenten, mens acetat vil bli fullstendig nedbrutt. Resultatene bygger på at det skjer en sambehandling med kloakk i renseanlegget.

Slambelastningen i reaktorene ligger høyt, påvirkes lite av nitrogenmangel og endres lite med oppholdstiden. Et optimum synes å ligge omkring HRT = 15 timer (Figur 4). Men selv når systemene presses ned til 12 timer er det ingen tegn til sammenbrudd, mens lange oppholdstider på den annen side gir noe lavere slambelastning enn forventet.

Temperatursenkning fra 6 til 2°C gir en reduksjon i renseseffekten for Kilfrost alene med 4-5 % og noe større utslag i redusert slambelastning (Figur 4).



Figur 3. Nedbrytning av avisingsvæsker som funksjon av økende tilskudd av nitrogen.



Figur 4. Slambelastning som funksjon av oppholdstid i reaktorene ved behandling av 75% Kilfrost + 25 % Clearway, med tilskudd av 12 mg N/l ved 5,6 °C.

- (\*) Startbetingelse: 5 mg N/l
- (\*\*) Temperatur senket til 2,0 °C



Tabell 3. Driftsdata fra reaktorforsøk med rensing av avisingvæsker i et aktivslam system.

FORSØKSBETINGELSER		100% Kilfrost		75% Kilfrost		
				25% Clearway		
REAKTOR		R1	R2	R3	R4	SNITT
REAKTORVOLUM (mL)		915	875	875	905	892.5
(faktor 1/V = 1.12 anvendt som middelverdi)						
	t = 5.6-5.7 grad C	uten N	5 mg N/l	uten N	5 mg N/l	
GJENNOMSTRØMNING (mL/DØGN)		932	886	845	927	897.5
OPPHOLDSTID (DØGN)		0.98176	0.987585	1.035503	0.976268	0.995279
RENSEGRAD (%)		29.4	48.7	32.6	75.4	
SLAMBELASTNING (mgKOF/mgSS DGN)		0.431889	0.444025	0.413326	0.472741	
	t = 5.6-5.7 grad C	8 mg N/l	12 mg N/l	8 mg N/l	12 mg N/l	
GJENNOMSTRØMNING (mL/DØGN)		874	938	927	844	895.75
OPPHOLDSTID (DØGN)		1.046911	0.932836	0.943905	1.072275	0.998982
RENSEGRAD (%)		92.6	92.9	89	93.2	
SLAMBELASTNING (mgKOF/mgSS DGN)		0.567476	0.582074	0.626781	0.614248	
	t = 5.6-5.7 grad C	8 mg N/l	12 mg N/l	8 mg N/l	12 mg N/l	
GJENNOMSTRØMNING (mL/DØGN)		1306	1247	1284	1440	1319.25
OPPHOLDSTID (DØGN)		0.700613	0.701684	0.681464	0.628472	0.678058
RENSEGRAD (%)		92.9	94.9	93.7	94.1	
SLAMBELASTNING (mgKOF/mgSS DGN)		0.828189	0.790288	1.018805	0.950234	
	t = 5.6-5.7 grad C	8 mg N/l	12 mg N/l	8 mg N/l	12 mg N/l	
GJENNOMSTRØMNING (mL/DØGN)		1799	1644	1605	1730	1694.5
OPPHOLDSTID (DØGN)		0.508616	0.532238	0.545171	0.523121	0.527287
RENSEGRAD (%)		79.8	90.8	88.5	94.3	
SLAMBELASTNING (mgKOF/mgSS DGN)		1.104526	0.869701	0.812619	0.905395	
	t = 2.0 - 2.1 grad C	8 mg N/l	12 mg N/l	8 mg N/l	12 mg N/l	
GJENNOMSTRØMNING (mL/DØGN)		1310	1271	1337	1323	1310.25
OPPHOLDSTID (DØGN)		0.698473	0.688434	0.65445	0.684051	0.681352
RENSEGRAD (%)		86.5	90.9	88	93.5	
SLAMBELASTNING (mgKOF/mgVSS DGN)		0.750386	0.815184	0.906133	0.792383	

### 3.3.3 Mikroskopisk analyse av slam

**R 1.** Fnokkene hadde sterkt frynset struktur, med stor utbredelse av filamentøse bakterier, dominans av *Sphaerotilus natans*. Liten utbredelse av stav-bakterier som dannet kompakt struktur, selv om det ble observert i sentrale partier av fnokkene. Relativ stor forekomst av frittsvømmende ciliater (beiteorganismer)

**R 2.** Samme struktur og oppbygging av fnokkene som i R 1, men større innhold av frittsvømmende ciliater og stilk-ciliater av *Vorticella sp.*

**R 3.** Filamentøse bakterier av type *Sph. natans* dannet grunnstruktur i fnokkene. Denne var overdekt med vekst av stav-bakterier som produserer en slimaktig substans (Zoogløs vekststruktur). Denne vekst-type gir en mer kompakt fnokk-struktur, særlig i sentrale deler. Perifert er det aktiv fremvekst av *Sph. natans*. Tydelig mindre forekomst av filamentøse bakterier enn i R1 og R2. Vesentlig større innhold av *Vorticella sp.* enn i R1 og R2. De var utbredt både inne i fnokkstrukturen og i periferi. Den store forekomst av flere arter beiteorganismer indikerer at slammet var i bra kondisjon.

**R 4.** Fnokk-strukturen var mer kompakt enn i R3 og med merkbart mindre innhold av filamentøse bakterier. Stilk-ciliater *Vorticella sp.* har visuelt sett størst utbredelse i denne reaktoren. I tillegg var det størst arts mangfold av beiteorganismer. Slammets konsistens og struktur indikerer meget god kondisjon og aktivitet.

### 3.4 Diskusjon av resultatene

Resultatene fra laboratorie skala aktivslamreaktorer kan ikke uten videre overføres til et pilotanlegg drevet på vanlig kloakk. Det skyldes både hydrauliske forhold, sedimentasjonsenhetens utforming og reguleringstekniske forhold, som bl.a. mer effektivt kan hindre slamflukt og tap av aktivitet under betingelser som ellers ville gitt utvasking. Resultatene viser at selv med HRT ned i 12 timer skjer det ingen utvasking, mens slam tvert om bygges opp og må tas ut manuelt. Dette kan forklare at renseeffekten fremdeles er meget god og slambelastningen lite påvirket ved høy hydraulisk belastning, selv om temperaturen tilsier at biomassen har en meget lav spesifikk vekstrate.

I den andre enden av skalaen, ved lange oppholdstider, tyder resultatene på at en vesentlig mindre del av biomassen er aktiv, og dette medfører lavere slambelastning. Årsaken kan være at behovet for nitrogen til opprettholdelse av basal-metabolismen øker, og at biomassen ved HRT = 23-24 timer har lidd under mangel på nitrogen selv ved et tilskudd på 12 mg N/l. Det ville derfor ha vært ønskelig med et noe større N-tilskudd i reaktorene R2 og R4, f.eks. 15 mg N/l.

Resultatene fra mikroskopisk vurdering av slammet tyder derfor på at det er en klart gunstig effekt både av nitrogentilskuddet og av sambehandling av propylenglykol og acetat. Visuelt ble dette bekreftet ved at R 4 opprettholdt et slam med bedre sedimentasjons-egenskaper og hadde en klarere effluent med mindre innhold av frie bakterier. De øvrige gav jevnt over et turbid avløpsvann. Propylenglykol alene gav en tendens til vekst av filamentøse bakterier, som i praktisk sammenheng kan medføre driftsproblemer på grunn av slamflotasjon (bulking).

## 4. SYSTEMANALYSE

### 4.1. Rammebetingelser

Basert på bearbeiding av belastningsdata og gjennomførte laboratorieforsøk er følgende rammebetingelser satt for systemanalysen:

- \* Følgende rensekrav gjelder:
  - 90 % reduksjon av organisk stoff fra samlet flyplassavløp før utslipp til kommunalt anlegg.
  - På kommunalt renseanlegg:
    - 90 % reduksjon av organisk stoff
    - 95 % reduksjon av fosfor
    - 15 % reduksjon av nitrogen
  
- \* Den hydrauliske belastningen blir dimensjonerende for fordrøyningsvolumet. Detaljanalyser av intensitet/varighet av såvel nedbør som snøsmelting må gjennomføres for å kunne angi størrelse på nødvendig fordrøyningsvolum. Dette faller utenfor rammen i foreliggende prosjekt.
  
- \* Dimensjonerende organisk belastning,  $C_{dim}$ :  
 $C_{dim, TOC} = 13.000 \text{ kg TOC/døgn}$   
 $C_{dim, COD} = 45.000 \text{ kg COD/døgn}$
  
- \* Næringsstoffbehov:

Det spesifikke næringsstoffbehovet er undersøkt ved batch testing i laboratorie. Disse undersøkelsene antyder et nitrogenbehov i størrelsesorden 12 mg N/l for det aktuelle vannet. Teoretiske betraktninger og erfaringsdata gir et N:P forhold i størrelsesorden 10-12:1.
  
- \* Temperatur/oppholdstid:

Spillvann fra flyplassen og kommunalt avløpsvann vil ha høyere temperatur enn det forurensede overvannet. Temperaturen på innløpsvannet til den biologiske forbehandlingen vil derfor avhenge av grad av sambehandling av de ulike typer avløpsvann.

Mikroorganismenes vekst- og omsetningsevne vil reduseres med synkende temperatur. Det er derfor naturlig å forvente lavere renseeffekt ved en reduksjon av vanntemperaturen.

Teoretisk mulige strategier for å sikre tilstrekkelig renseeffekt ved lave temperaturer er:

  - økt oppholdstid ved konstant belastning
  - redusert belastning ved konstant oppholdstid.

Det er vanskelig å manipulere med disse parametrene når et anlegg er bygget og satt i drift og det er derfor viktig å ta hensyn til dette i dimensjoneringsgrunnlaget.

Disse sammenhengene illustreres i laboratorieforsøkene, og i tabell 4 vises en sammenligning av renseseffekt og belastningstall for to parallelle kjøringar ved henholdsvis 5,6 og 2°C.

Tabell 4. Sammenligning av testkjøringar ved to temperaturnivå.

Temperatur (°C)	5,6	2,0
Oppholdstid (h)	17	17
N-konsent. (mg/l)	12	12
Renseeffekt (%)	94	93,5
Slambelastn. (kg COD/kg SSd)	0,95	0,8

\* Slambelastning:

Mengde organisk stoff som kan omsettes pr. mengde aktivt slam (aktive mikroorganismer) kan uttrykkes som slambelastning (kg COD/kg SS døgn). Dette blir den dimensjonerende parameteren for volumet av det biologiske trinnet.

Et normalt forløp for et aktivslamanlegg vil være at renseseffekten avtar med økende slambelastning. Det er vanskelig å entydig bekrefte et slikt forløp ut i fra de gjennomførte laboratoriekjøringar.

Mulig årsak til dette er at resultater fra reaktorer i en slik størrelse blir relativt ustabile på grunn av små volummarginer.

Fordi hovedtyngden av testen har blitt utført rett over (12 mg/l) og rett under (8 mg/l) antatt nitrogenbalanse, kan det tenkes at effekten av nitrogen har blitt mer dominerende enn selve slambelastningen (Ref. kap. 3.4).

Vi har derfor valgt å bruke verdier fra kjøring på laveste temperaturnivå (2 °C) og legge en sikkerhetsfaktor på 1,5 på denne.

En indikativ slambelastning blir da:

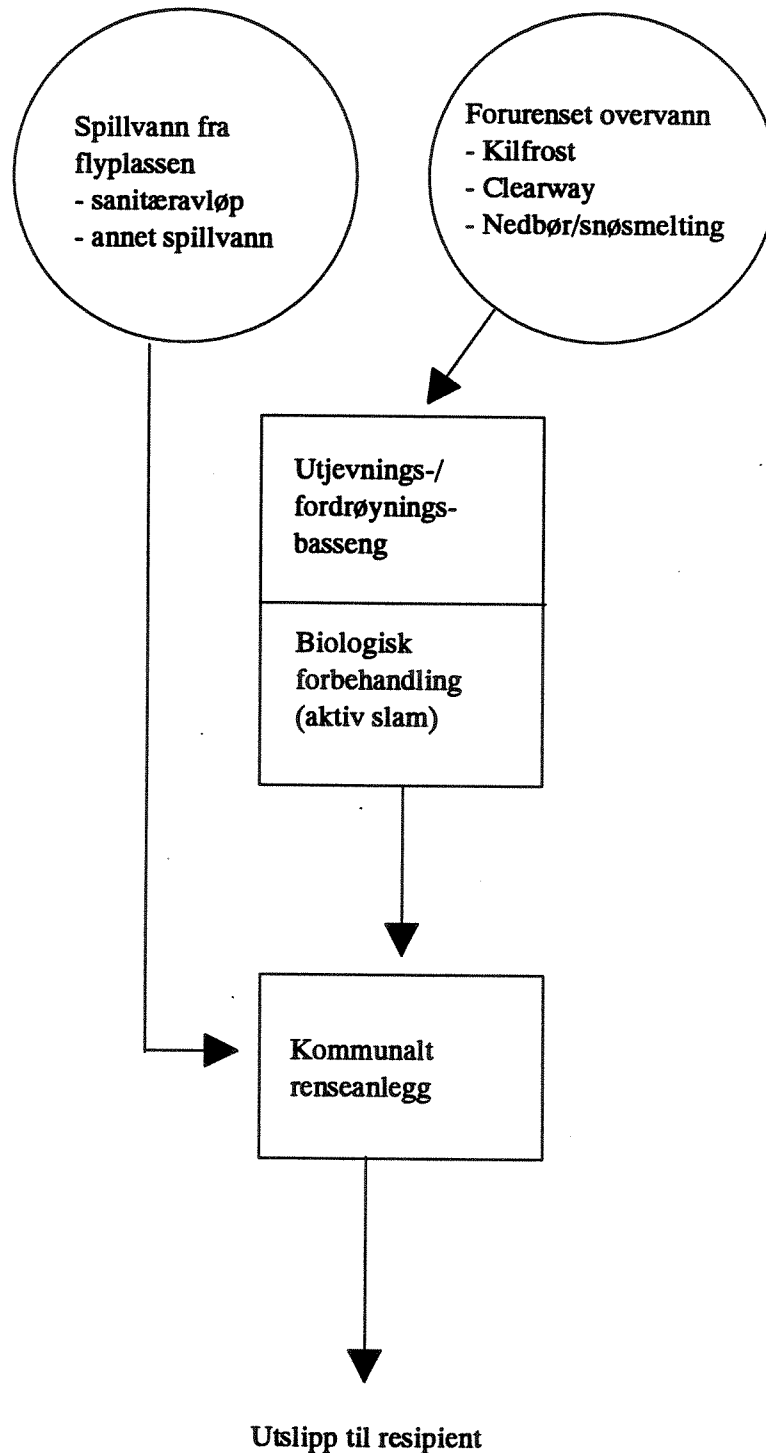
$$0,8/1,5 = 0,5 \text{ kg COD/kg SSd}$$

Det presiseres at dette ikke må oppfattes som et dimensjoneringsgrunnlag, men som en indikasjon på hvilket nivå en senere pilotskalautprøving bør innrette seg på.

#### 4.2. Separat rensing av forurenset overvann

Det ansees ikke som økonomisk eller driftsmessig aktuelt å ha to separate flyplassinterne rensenanlegg. Separat rensing av forurenset overvann betinger derfor at spillvann føres direkte til kommunalt rensenanlegg.

En systemskisse over et slik alternativ er vist i figur 5.



Figur 5. Prinsippeskisse for separat rensing av forurenset overvann.

En slik løsning vil medføre følgende effekter:

- \* Kravet om 90 % reduksjon av organisk stoff i det totale flyplassavløpet må ivaretas ved kun rensing av forurenset overvann. Dette betyr at renseseffekten for overvannet må økes fra 90 % til ca. 93 %.
- \* Næringsstoffbehovet må ivaretas ved tilsetting av ekstern(e) nitrogen og fosforkilder. Slike kilder kan tenkes å være av følgende typer:
  - handelsprodukt, f.eks. kunstgjødsel
  - biprodukt, f.eks. støv/spill fra kjemisk produksjon
  - avfallsprodukt, f.eks. konsentrert, næringsrikt spesialavløp.

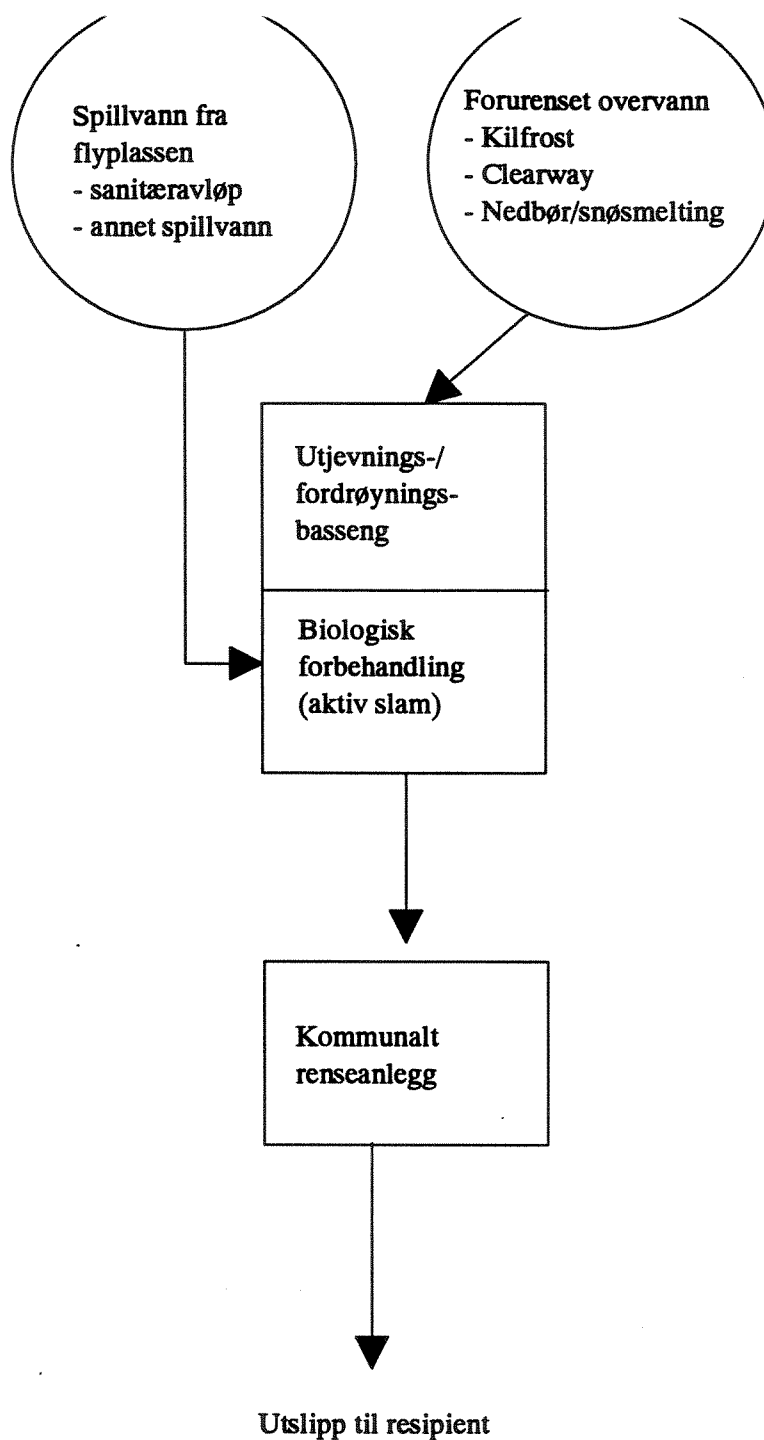
En felles betingelse for eksterne kilder er at de ikke representerer en vesentlig tilleggsbelastning av organisk stoff, samt at de ikke inneholder andre stoffer med ugunstig, inhiberende eller toksisk effekt.

Kostnaden ved en slik løsning vil selvsagt avhenge av prisen på det valgte produkt, men selv med et avfallsprodukt vil håndtering/dosering osv. bidra til både økte anleggs- og driftskostnader.

- \* En potensiell temperaturgevinst fra spillvannet vil ikke kunne utnyttes

#### **4.3. Sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen**

Sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen kan gjøres ved at det forurensete overvannet først ledes til et utjevningsbasseng og derfra doseres til et biologisk rensetrinn hvor det blandes med spillvannet fra flyplassen og behandles før det slippes til kommunalt renseanlegg. En systemskisse over dette alternativet er vist i figur 6.



Figur 6. Prinsippskisse for sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen.

En slik løsning vil medføre følgende effekter:

- \* En massebalanse viser at spillvannets nitrogen- og fosforinnhold er tilstrekkelig til å dekke aktivslamsystemets næringsstoffbehov.

Tilført nitrogenmengde: 178 kg N/d  
Anslått nitrogenbehov: ca. 112 kg N/d

Tilført fosformengde: 30 kg P/d  
Anslått fosforbehov: ca. 10 kg P/d



Selv om deler av nitrogen- eller fosformengden skulle være utilgjengelig pga. uheldig bindings- eller innblandingsforhold, eller større vannmengdevariasjon skulle oppstå synes marginene tilstrekkelige til å gi en rimelig god sikkerhet mot næringsstoffbegrensning.

- \* Sporstoffbehovet forventes også dekket i rikelig grad av det sammensatte spillvannet.
- \* Innblanding av spillvann vil gi et bredere sammensatt substratgrunnlag enn overvannet alene. Laboratorieforsøkene indikerer klart den rensemessige fordelene ved dette.
- \* Forurenset overvann, bestående delvis av smeltevann, vil holde en lav temperatur. En uoverdekket, luftet utjevningstank vil også kunne gi en kjølingseffekt.

I en ren smeltesituasjon kan selvsagt overvannstemperaturen ligge ned i mot 0°C. Det må ansees som en ekstremal situasjon og en verdi på ca. 2°C kan ansees som en realistisk, men forsiktig snittverdi.

Spillvannet derimot kan forventes å holde en betydelig høyere temperatur og et sannsynlig variasjonsområde vil være 10-15°C. Dette kan forklares ved følgende forhold:

- ledningsanlegget vil være et såkalt separatsystem, dvs. at spillvannet ikke vil bli blandet med (kaldt) overvann
- et nytt og derved tett ledningssystem gir minimal innlekking av (kaldt) fremmedvann
- deler av avløpet kommer fra varmtvannskilder som kjøkken og vaskeposter

Mulige temperatursituasjoner i aktivslamsystemet avhengig av henholdsvis overvann- og spillvannstemperaturen er vist i tabell 5.

Tabell 5. Temperatur i aktivslamsystemet

Overvann (°C)	Spillvann (°C)	Aktivslamsystem (°C)
0	10	1,9
0	15	2,9
2	10	3,6
2	15	4,5
4	10	5,4
4	15	6,3

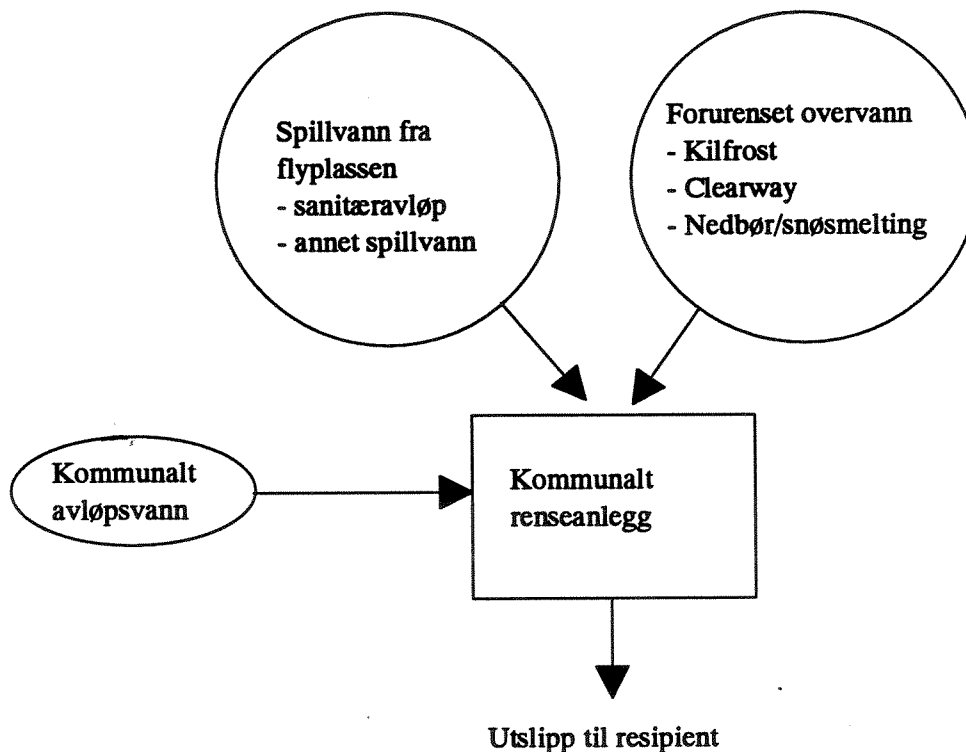
Vi ser at minimumstemperaturen i det biologiske trinnet kan forventes å ligge i området 2-6°C.

De utførte laboratorieforsøkene dekker dette variasjonsområdet.

#### 4.4. Sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen med kommunalt avløpsvann

Sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen med kommunalt avløpsvann kan gjøres ved at alt avløp fra flyplassen føres til eksternt (kommunalt) renseanlegg.

En system skisse over dette alternativet er vist i figur 7.



Figur 7. Prinsippkisse for sambehandling av forurenset overvann og spillvann fra flyplassen med kommunalt avløpsvann.

I forbindelse med senere planlegging av nytt kommunalt renseanlegg for Gardermoen bør en sambehandling med avløpsvannet fra ny hovedflyplass vurderes. Med en slik løsning vil sammensetningen av avløpsvannet bli vesentlig annerledes enn forutsatt i dette prosjektet, og de designindikasjoner som er fremkommet i våre undersøkelser vil ikke automatisk ha gyldighet. Men som et innspill for den videre planlegging gis under en kort omtale av noen elementer som vil inngå i en slik vurdering:

- \* Bygging og drift av ett stort renseanlegg vil sannsynligvis ha økonomiske og praktiske fordeler fremfor to separate anlegg.
- \* Dersom et fremtidig kommunalt anlegg får nitrogenfjerningskrav, kan det forurensede overvannet representere en potensiell karbonkilde som vil kunne gi enklere/bedre denitrifikasjon. (Denitrifikasjon er det siste av to trinn i en biologisk nitrogenfjerningsprosess).
- \* Næringsstoff regnskapet for det samlede flyplassavløpet går i overskudd (ref. kap. 4.3) og sambehandling med kommunalt avløp er ikke påkrevet utifra slike hensyn.
- \* I henhold til rensekrav som er formulert pr. idag skal reduksjonen av organisk stoff først være 90% i det flyplassinterne anlegget og deretter igjen 90% i det kommunale renseanlegg.

Da mengdeforholdene mellom flyplass- og kommunalavløpet ikke er kjent, kan det ikke spesifisere et endelig krav for et eventuelt fellesanlegg. Men det er helt på det rene at sluttkravet vil bli på klart over 90%.

Dette må regnes som et relativt tøft krav, men slett ikke renseteknisk umulig. Riktig dimensjonering og grundig økonomisk analyse vil bli viktig.

- \* De store hydrauliske belastningsvariasjonene fra det forurensede overvannet tilsier eget utjevningsbasseng (evt. utjevning i overføringsledninger) også ved sambehandling med kommunalt avløpsvann.

## 5. PROSESSVALG

Basert på laboratorieundersøkelsene og systemanalysen mener vi at den mest hensiktsmessige håndtering av flyplassens avløp vil være sambehandling av forurenset overvann og spillvann i eget biologisk rensetrinn som beskrevet i kapittel 4.3.

### 5.1. Utjevning

Det forurensete overvannet vil produseres i vinterhalvåret og antas å forekomme over en 120 døgns periode. Produksjon og avrenning vil kunne ha store variasjoner avhengig av klimatiske forhold.

Overvannet bør derfor utjevnes hydraulisk for å sikre god drift av etterfølgende rensetrinn. Bestemmelse av nødvendig fordrøyningsvolum som kan sikre en maksimal videreført vannmengde på  $Q_{dim} = 7500 \text{ m}^3/\text{døgn}$  må fastsettes på bakgrunn av nedbør- og snøsmeltingsdata. Denne bestemmelsen betinger ikke en renseteknisk vurdering og faller utenfor rammen av dette prosjektet.

Dette fordrøyningsvolumet bør være luftet for å forhindre at oksygenfrie (anaerobe) forhold oppstår. Slike forhold vil kunne gi driftsproblemer i form av f.eks. gassproduksjon (lukt) og hemming av aktivitet i etterfølgende trinn.

En lufting vil også bevirke en omrøring og derved bedre homogenisering av overvannet (utjevning av konsentrasjonsforskjeller). Problemer med avsetning (sedimentering) av partikulært materiale vil også forebygges.

Temperaturhensyn (ref. kap. 4.3) og kanskje også driftshensyn (fugler, tåke/damp) taler for en overdekking av utjevningensvolumet. Men dette vil i stor grad være et økonomisk spørsmål som må vurderes når en volumbestemmelse er gjort.

Også valg av bassengtype er et spørsmål som er mer bestemt av økonomiske enn av rensetekniske hensyn. Jorddammer med tettingsduk og konvensjonelle betongbasseng er to mulige alternativ. Det primære krav er å sikre fullstendig tetting og forhindre lekkasjer. Grunnforhold og vedlikeholdsbehov vil være viktige moment i en slik vurdering.

### 5.2. Biologisk rensetrinn

Det var nedlagt i prosjektforutsetningen at utprøvingen skulle baseres på et biologisk rensetrinn av typen lavbelastet aktivslam.

Prinsippet for denne prosessen er at et slam som inneholder aktive mikroorganismer holdes fritt suspendert i en luftet tank.

Mikroorganismene (det aktive slammet) omdanner den tilførte forurensning til nytt cellemateriale (mer slam) og andre sluttprodukter (f.eks.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Slam/vann suspensjonen separeres i f.eks. et sedimentasjonstrinn. Renset vann ledes ut, en delstrøm av slammet resirkuleres tilbake til luftetanken for å sørge for stabil tilgang på aktivt slam, og overskuddsslammet tas ut for separat behandling og deponering.

I det følgende er det satt opp en volumberegning av det biologiske trinnet basert på de foreløpige dimensjoneringsindikasjonene fra laboratorieundersøkelsen.

Forutsetninger:

- Slambelastning: 0,5 kg COD/kg SSd
- Slamkonsentrasjon: 2500 mg SS/l = 2,5 kg SS/m<sup>3</sup> reaktorvolum  
basert på erfaringstall fra konvensjonelle aktivslamanlegg. Må verifiseres i større skala.
- > Systembelastning : 1,25 kg COD/m<sup>3</sup> reaktorvolum

Orienterende volumbehov:

- Ut i fra COD-belastning: 45.000 kg COD/d  
1,25 kg COD/m<sup>3</sup> reaktorvolum  
= 36.400 m<sup>3</sup>
  - Kontroll av oppholdstid: 36.400 m<sup>3</sup> volum/9.300 m<sup>3</sup>/d = 3,9 døgn
- => Forurensningsbelastningen blir dimensjonerende fremfor oppholdstiden.

Avskilling av overskuddsslam vil foregå i et eget sedimenteringsbasseng. Slammets sedimenteringsegenskaper vil være bestemmende for utforming og størrelse på sedimenteringsenheten. Laboratorieforskene ved bruk av små reaktorer er ikke egnet til vurdering av slammets sedimenteringsegenskaper, og forsøk i større skala bør gjennomføres.

### 5.3 Prosesskommentarer

Tilførselen av forurenset overvann er sesongbetont (120 døgn/år). I begynnelsen av hver avisingsperiode, er det nødvendig å ha bygget opp en kultur av mikroorganismer (biomasse) som skal "stå klar" til å fores med karbonrikt avløpsvann. En oppkjøringsperiode på 1-2 måneder kan være nødvendig.

Ut i fra anleggsmessige og driftstekniske årsaker vil det være nødvendig å fordele det totale reaktorvolum på flere parallelle tanker. Det er på denne bakgrunn tre hovedstrategier for å håndtere sesongvariasjonene:

- a) Utenom avisingsperioden holdes kun den tankandel som skal ivareta spillvannsbehandlingen i drift. Resterende luftetanker stenges (tappes ned) og må startes opp igjen hver høst. Ved oppstart benyttes biomasse fra sommersesongens rensing av spillvann.

- b) En av de tomme luftetankene benyttes til å holde en begrenset slamkultur i live på en "kunstig" glykol/acetattilførsel over sommerperioden for å sikre seg et såkalt podeslam. Dette vil gi raskere etablering av riktig slamkultur.
- c) Utenom avisingsperioden stenges hele rensetrinnene og spillvannet ledes til kommunalt rensesanlegg.

Det sistnevnte alternativet vil medføre at det kommunale anlegget må dimensjoneres for en ekstra belastning, og må derfor diskuteres med kommunen. Alternativet vil ikke bli nærmere vurdert i denne rapporten.

Laboratorieforsøkene viste at gunstig biomasse ble bygget opp relativt raskt. Det må imidlertid understrekes at omgivelsesbetingelsene er under kunstig god kontroll ved bruk av små reaktorer i et laboratorium.

Valg mellom strategialternativene a) og b) anbefales derfor vurdert nærmere ved en utprøving i større skala.

## 6. REFERANSER

AVIA-PLAN, 1991:

Avia-Plan Rapport 715, 31/10-91. Sluttrapport 7, Tekniske Anlegg.

ANØ, 1991:

Anø Rapport 54/91, 12/10-91. Konsekvenser for utslipp til vassdrag

ANØ, 1985:

Anø Rapport 42/85, TOC i avløpsvann

METCALF & EDDY, 1991:

Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering, 3. Edt. Mcgraw-Hill Inc.

TAUGBØL & ØVERLAND, 1992:

Personlig meddelse fra H. Damhaug, Taugbøl & Øverland A.S. Bekreftet av K. Dagestad, Luftfartsverket.

LUFTFARTSVERKET, 1991:

Notat Luftfartsverket, Ro7-004. Ojn. Vannbalanse.

---

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo  
ISBN 82-577-2109-3