

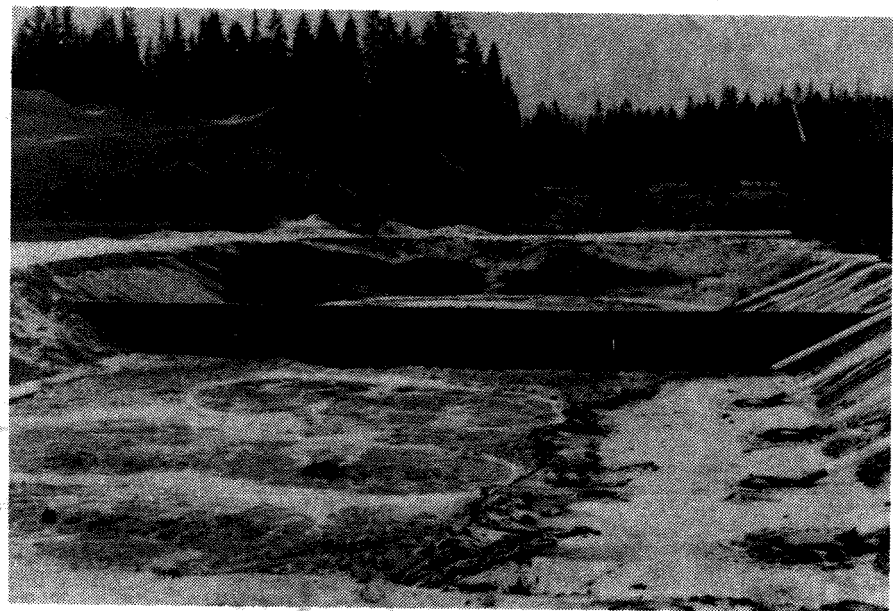
1714



RAPPORT 2184

0-83027

Luftet lagune for rensing av sigevann



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA
Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Hovedkontor
Postadresse:
Postboks 333
0314 Oslo 3
Brekkeveien 19
Telefon (02)23 52 80

Sørlandsavdelingen
Postadresse:
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041)43 033

Østlandsavdelingen
Postadresse:
Rute 866, 2312 Ottestad
Postgiro: 4 07 73 68
Telefon (065)76 752

Rapportnummer: 0-83027
Undernummer: I
Løpenummer: 1714
Begrenset distribusjon:

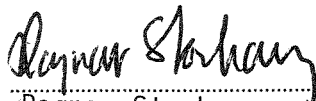
Rapportens tittel: Luftet lagune for rensing av sigevann VA-21/84	Dato: 15. april 1985
Forfatter (e): Ragnar Storhaug	Prosjektnummer: 0-83027
	Faggruppe: VA-teknikk
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag): 56


Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt: Den luftede lagunen for rensing av sigevann ved Dal-skog søppelfyllplass er fulgt opp over en 15 måneders periode. I denne perioden har fjerningen av organisk stoff variert betydelig, særlig på grunn av fosfurmangel. Fosfor blir derfor tilsatt lagunen daglig. I to perioder med tilnærmet stabile driftsforhold er det oppnådd over 90 % fjerning av organisk stoff. Ved dimensjonering av nye anlegg anbefales en hydraulisk oppholdstid på 60 døgn. Det rensede sigevannet ble opprinnelig infiltrert i grunnen. Dette medførte betydelige igjentettingsproblemer i infiltrasjonsområdet. På nye anlegg bør den luftede lagunen etterfølges av et sedimenteringsbasseng. Evt. infiltrasjon av sigevannet bør skje fra åpne laguner.

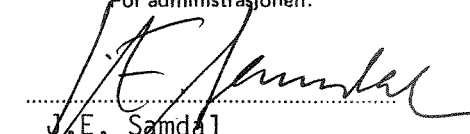
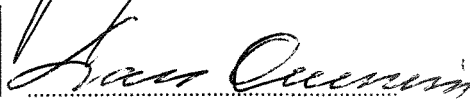
4 emneord, norske:
1. Sigevann
2. Søppelfyllplass
3. Luftet lagune
4. Driftserfaringer
VA-21/84

4 emneord, engelske:
1. Leachate
2. Sanitary landfill
3. Aerated lagoon
4.

Prosjektleder:

Ragnar Storhaug
Divisjonssjef:


Oddvar Lindholm

ISBN 82-577-0899-2

For administrasjonen:

J.E. Samdal

Lars N. Overrein

0-83027

LUFTET LAGUNE FOR RENSING AV SIGEVANN

Oslo, november 1984

Ragnar Storhaug

FORORD

Prosjektet er utført i nært samarbeid med de ansatte i Øvre Romerike Avfallsselskap. Alle analyser er utført hos Avløpssambandet Nordre Øyeren.

Jeg vil få takke Bjørn Flatner, Vidar Olsen, Avd.ing. Geir Havenstrøm og Overing. Erik Steensrud for godt samarbeid i oppfølgingsperioden.

Undersøkelsen er finansiert av Statens forurensningstilsyn.

Oslo, november 1984

Ragnar Storhaug

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	2
SAMMENDRAG	4
1. BAKGRUNN	6
2. BESKRIVELSE AV DAL-SKOG SØPPELFYLLPLOSS	7
2.1. Fyllplassen	7
2.2. Utforming av luftet lagune	9
2.3. Infiltrasjonsanlegg	10
3. OPPFØLGINGSPROGRAM	11
4. MENGDE OG SAMMENSETNING AV SIGEVANN	13
4.1. Sigevannsmengder	13
4.2. Sigevannets sammensetning	17
5. BIOLOGISK RENSING AV SIGEVANN I LUFTET LAGUNE	22
5.1. Resultater fra litteraturen	22
5.2. Resultater fra Dal-Skog søppelfyllplass	22
5.2.1. Fjerning av organisk stoff	22
5.2.2. Hydraulisk og organisk belastning	26
5.2.3. Endring av forholdet BOF ₇ /KOF i løpet av oppfølgingsperioden	29
5.2.4. Temperatur, pH og O ₂ -innhold i lagunen i løpet av oppfølgingsperioden	30
5.2.5. Nitrogen	33
5.2.6. Jern	35
5.2.7. Fosfor	36
5.3. Konklusjoner	37
6. DRIFT AV LUFTET LAGUNE	38
7. DIMENSJONERING OG UTFORMING AV LUFTET LAGUNE FOR RENSING AV SIGEVANN	40
7.1. Generelt	40
7.2. Krav til utløpsvannets kvalitet	40
7.3. Dimensjonerende sigevannsmengder	40
7.4. Dimensjonerende hydraulisk og organisk belastning	41
7.5. Dimensjonerende luftbehov	41
7.6. Avskilling av suspendert stoff	41
8. DRIFTSERFARINGER MED INFILTRASJONSANLEGG FOR RENSET SIGEVANN	42
9. ØKONOMI	44
10. LITTERATUR	47
BILAG	50

SAMMENDRAG

Dal skog søppefyllplass eies og drives av Øvre Romerike Avfallsselskap. Årlig mottar plassen ca. 60.000 m³ avfall. Bunnen på fyllingen er tettet med plastmembran. Totalt areal som er dekket med membran er 1,9 ha. Sigevannet blir samlet opp i et drens-system og ført til en pumpestasjon sentralt plassert på fyllingsområdet. Fra pumpestasjonen pumpes sigevannet frem til en luftet lagune med volum på ca. 350 m³. Utløpsvannet fra den luftede lagunen passerer en kum for avskilling av sedimenterbart stoff før det blir infiltrert i grunnen.

Sigevannet fra Dal-skog søppefyllplass er typisk for en ung fylling. Middelkonsentrasjonen for kjemisk oksygenforbruk (KOF) var ca. 19.000 mg/l. Middelkonsentrasjonen for biokjemisk oksygenforbruk (BOF₇) var ca. 13.000 mg/l. Sigevannet inneholder svært lave konsentrasjoner av fosfor.

Middelnedbøren i området er ca. 800 mm/år. I perioden som oppfølgingen pågikk utgjorde sigevannsmengden ca. 45 % av totalnedbøren. Midlere sigevannsmengde pr. arealenhet var 7,75 m³/ha·d.

Renseresultatene for fjerning av organisk stoff var i den første delen av oppfølgingsperioden svært dårlige. Dette har sammenheng med at fosfor var en begrensende faktor. I juli 1983 startet tilsetning av fosfor i form av monokalsiumfosfat. Dette førte til at renseseffekten for både BOF₇ og KOF økte fra ca. 30 % til 98 %. Temperaturen i lagunen var da 18,3⁰C, midlere hydraulisk oppholdstid var 45 døgn og organisk belastning lik 0,45 kg KOF/m³·d og 0,32 kg BOF₇/m³·d. I løpet av høsten øket sigevannsmengdene i en periode betydelig og kombinert med for lav fosfordosering gjorde dette at renseseffekten avtok. Vinteren 1984 stabiliserte rensesprosessen seg igjen. Temperaturen i lagunen var da 1,7⁰C, midlere hydraulisk oppholdstid var 55 døgn og organisk belastning lik 0,37 kg KOF/m³·d og 0,22 kg BOF₇/m³·d. Renseseffekten for fjerning av organisk stoff var ca. 90 %. Basert på erfaringer fra Dal-skog bør en luftet lagune for rensing av sigevann fra en ung søppefylling dimensjoneres for en hydraulisk oppholdstid lik 60 døgn. Dimensjonerende organisk belastning blir da 0,3 kg KOF/m³·d eller ca. 0,2 kg BOF₇/m³·d.

I de to periodene med gode renseresultater varierte fjerningen av nitrogen mellom 50 og 70 %.

Lagunen bør utformes i flere separate deler slik at det er mulig å variere hydraulisk oppholdstid. Det bør også anlegges et separat sedimenteringsbasseng med automatisk utpumping av avskilt slam.

Luftet lagune vil generelt sett være et godt alternativ for rensing av sigevann fra unge søppelfyllplasser. Sigevann fra eldre fyllplasser vil inneholde lave konsentrasjoner av lett nedbrytbart organisk stoff. Den prosentvise fjerning som oppnås ved rensing av denne type sigevann i luftet lagune er derfor svært lav.

En luftet lagune er et enkelt renseanlegg sammenlignet med renseanlegg for normalt kommunalt avløpsvann. Erfaringene som er kommet frem i løpet av oppfølgingsperioden ved Dal-skog viser at det er av avgjørende betydning med regelmessig tilsyn. På et anlegg av størrelse tilsvarende Dal-skog vil det være behov for fra 5-10 timer tilsyn pr. uke i gjennomsnitt.

Det rensede sigevannet blir infiltrert i grunnen. Midlere belastning på infiltrasjonsområdet var ca. $25 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$. Infiltrasjonsområdet gikk tett etter ca. 10 måneder. Et nytt infiltrasjonsområde ble anlagt, men også dette gikk tett. Det kan konkluderes med at infiltrasjon av rensed sigevann fra en ung fyllplass ikke er å anbefale. Hvis infiltrasjon skal benyttes bør dette skje fra åpne laguner eller åpne grøfter. Ved igjentetting er det da mulig å fjerne det øverste løsmasselaget.

Det er vanskelig å beregne eksakte kostnader for rensing av sigevann i luftet lagune. Beregnet på grunnlag av driftskostnader blir kostnadene 16 kr/m^3 sigevann, beregnet på basis av årskostnader blir kostnadene 29 kr/m^3 . Dette er i forholdsvis god overensstemmelse med tyske kostnadstall.

1. BAKGRUNN

Deponering i fylling er den vanligste behandlingsformen for kommunalt avfall i Norge. Ca. 70 % av det kommunale avfallet blir i 1983 deponert på fylling (1). Også frem mot år 2000 forventer man at deponering i fylling vil være den mest benyttede behandlingsformen (1). I 1977/79 ble det gjort en vurdering av miljøstandarden ved de kommunale avfallsanleggene (2), den viste at ved ca. 65 % av anleggene var det utilfredstillende forhold med hensyn til vannforurensning.

Sigevann fra avfallsfyllinger blir dannet når nedbør som faller på fyllingen, overflatevann fra omkringliggende områder, eller grunnvann passerer gjennom avfallslagene og vasker ut organiske og uorganiske stoffer. På få fyllplasser blir det foretatt en kontrollert oppsamling av sigevann. I slike tilfeller kan det oppstå forurensning både av grunnvann og overflatevann.

På avfallsfyllinger hvor det blir foretatt en kontrollert oppsamling av sigevann, er biologisk rensing i luftet lagune et aktuelt behandlingsalternativ.

Separat biologisk rensing i luftet lagune har tidligere vært gjennomført i laboratorieskala (3) og i halvteknisk skala (4) her i landet. Pr. idag er laganeanlegget på Dal-skog søppelfyllplass det ene av to fullskalaanlegg som er i drift i Norge.

For å innhente driftserfaringer med denne rensemetoden under typisk norske klimaforhold, har Statens Forurensningstilsyn i 1983 og 1984 bevilget tilsammen kr 170.000. Oppfølgingen av anlegget har pågått i perioden februar 1983 til juni 1984.

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har hatt ansvaret for oppfølgingen, men de ansatte i Øvre Romerike Avfallsselskap (ØRAS) har deltatt aktivt i arbeidet ved å foreta observasjoner, målinger og prøvetaking. Utslippskontrollprøvene som ØRAS er pålagt å ta, inngår i oppfølgingsprogrammet.

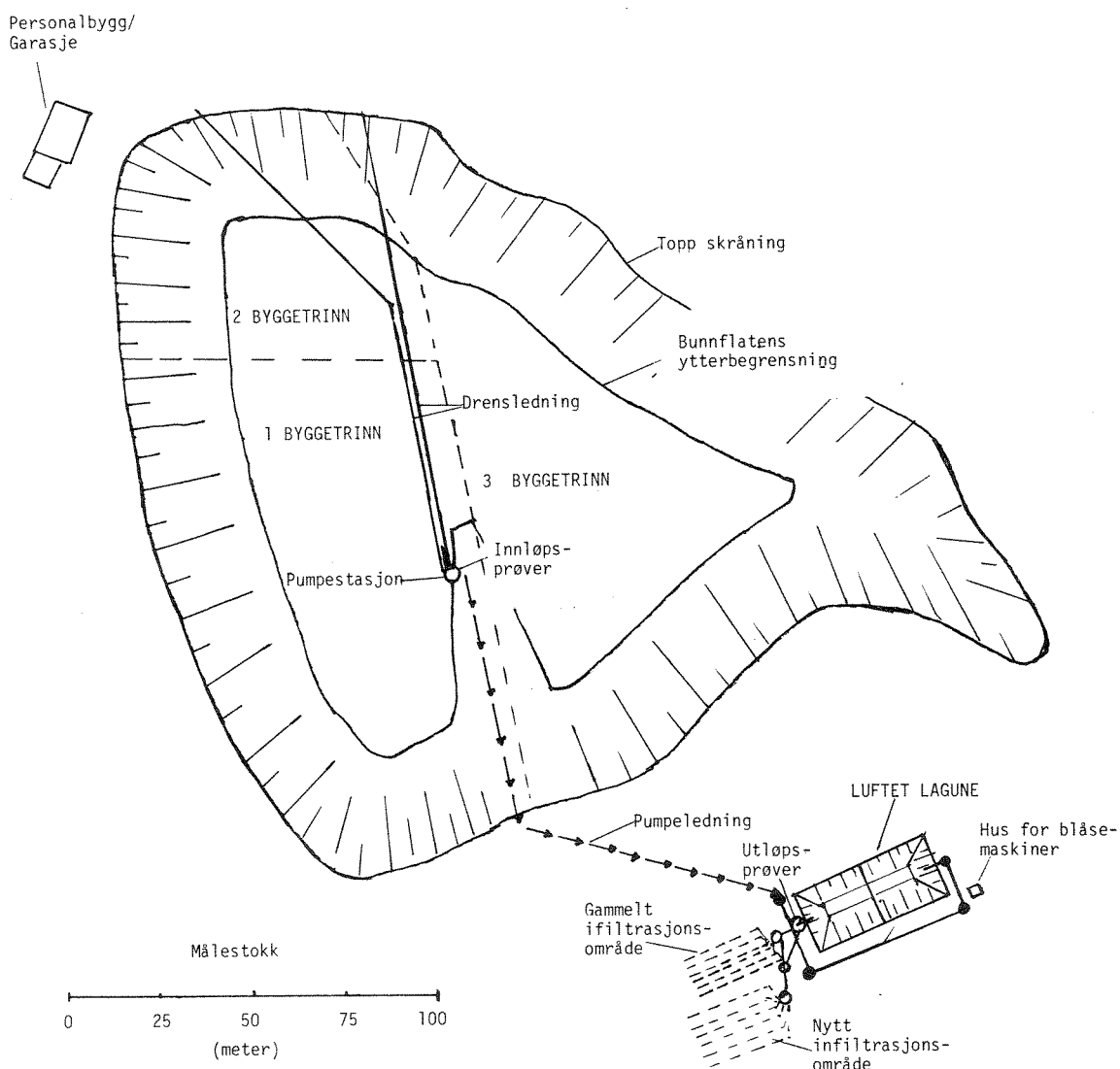
Tidligere er det utgitt en delrapport fra prosjektet (5).

2. BESKRIVELSE AV DAL-SKOG SØPPELFYLLPLASS

2.1. Fyllplassen

Dal-skog søppelfyllplass eies og drives av det interkommunale selskapet Øvre Romerike Avfallsselskap. I selskapet deltar kommunene Ulensaker, Hurdal, Eidsvoll og Nannestad. Avfallsplassen er lokalisert til Dal-skog, ca. 2,5 km sør for Dal sentrum. Den ble tatt i bruk i oktober 1981, og mottar årlig ca. 60.000 m³ avfall fra de fire nevnte kommunene. Avfallsfyllingen har ingen vektregistrering av mottatt avfall. Det foran nevnte avfallsvolumet er fremkommet ved driftspersonellets registrering av antall lass med avfall som blir levert pr. dag. Vanlig husholdningsavfall utgjør ca. 60 % av totalvolumet. Vel 30 % er avfall fra kontor og handelsbedrifter, mens ca. 10 % er bygningsavfall og større gjenstander fra husholdninger.

Avfallet blir komprimert med 23 tonns komprimator. Hver dag blir fyllingsfronten dekket med stedlige løsmasser. I 1983 medgikk ca. 3.800 m³ dekkmasse. I figur 1 er det vist en oversikt av avfallsfyllingen.



Figur 1. Oversiktstegning av Dal-skog søppelfyllplass.

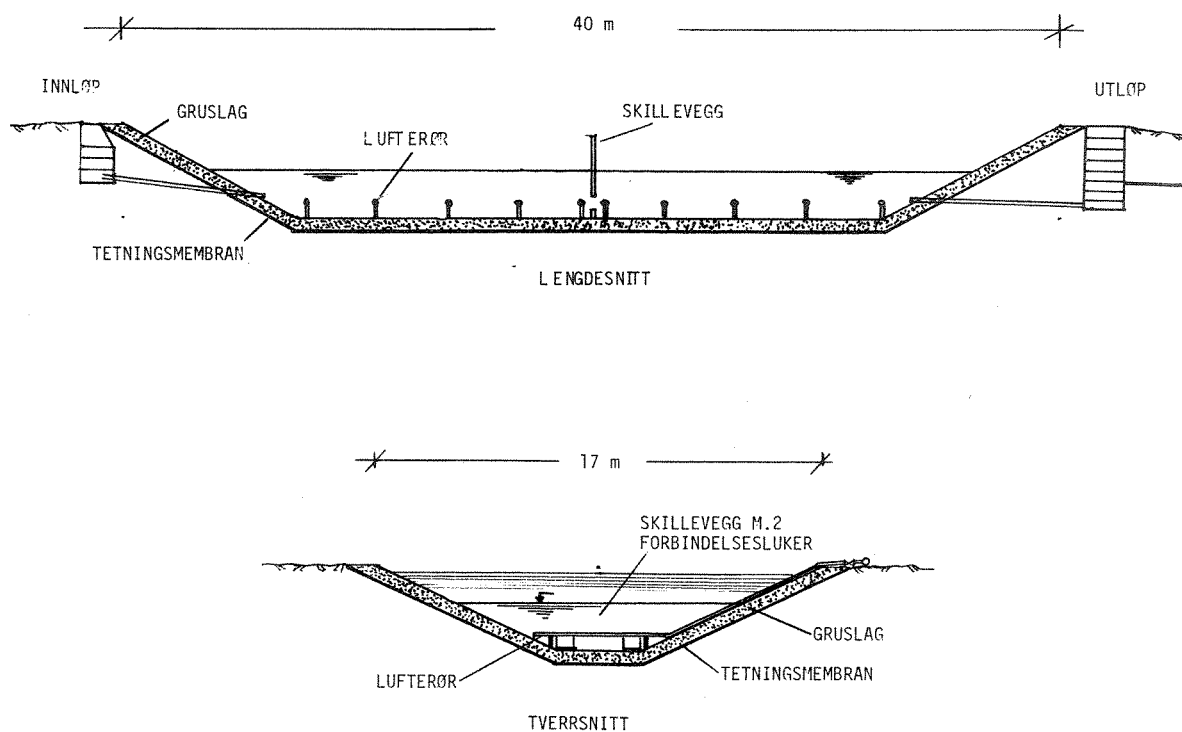
Bunnen av fyllingen er tettet med armert polyetylenfolie, tykkelse 0,5 mm (Monarflex 500). Bunnen ble tettet under første byggetrinn (13.000 m²) før oppstartning av fyllplassen i 1981. I september 1983 ble så bunnen i byggetrinn 2 (6.000 m²) tettet. Over plastmembranen er det lagt et 0,5 m tykt sandlag. Bunnen av fyllingsarealet faller svakt mot en dreneringsgrøft som leder sigevannet inn i en pumpestasjon. I grøften er det lagt to dreneringsrør (Raudril). Grøften er fylt med singel (kornstørrelse 16-20 mm), over dreneringsgrøften er det lagt fiberduk for å hindre inntrenging av finstoff.

2.2. Utforming av luftet lagune

Lagunen er gravet ut i løsmassene. Figur 2 viser h.h.v. lengdesnitt og tverrsnitt av lagunen.

Lagunebunnen er tett med plastmembran. Over plastmembranen er det lagt et 0,5 m gruslag. Lagunen er delt i to ved en skillevegg med to forbindelsesluker. I hver lagunehalvdel er det plassert fem lufterør (Ø 90 mm rustfritt stål). På hvert lufterør er det boret 72 stk. Ø 10 mm hull (36 hull på hver side).

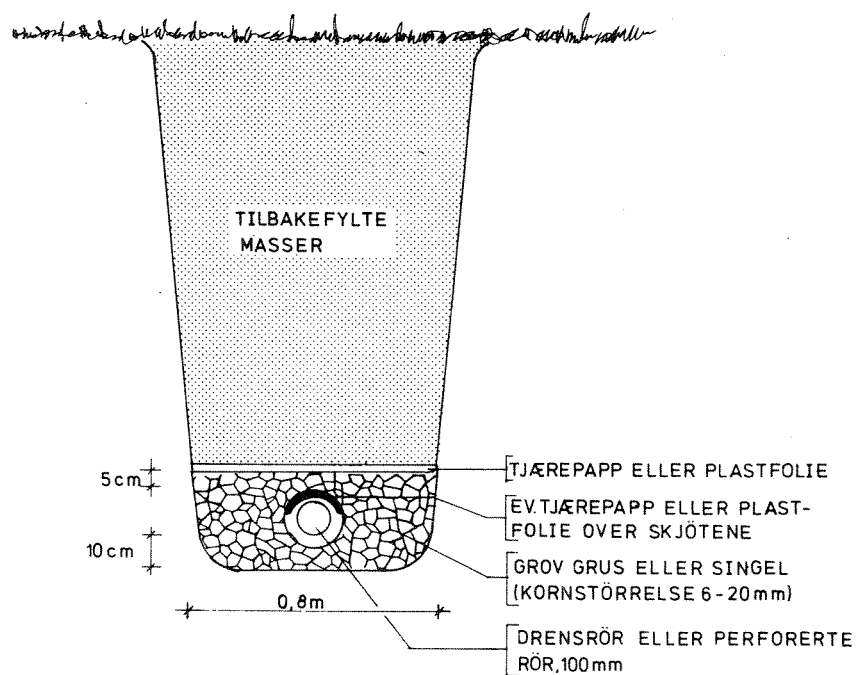
2 stk. blåsemaskiner, hver med en kapasitet på $17,5 \text{ m}^3/\text{min}$, sørger for lufttilførselen.



Figur 2. Lengde og tverrsnitt av luftet lagune på Dal-skog.

2.3. Infiltrasjonsanlegg

Utløpsvannet fra lagunen ble opprinnelig infiltrert i grunnen ved hjelp av 6 infiltrasjonsgrøfter etter først å ha passert en kum. Samlet grøftelengde var 125 m. Infiltrasjonsarealet var ca. 375 m². Figur 3 viser skjematisk et snitt av en infiltrasjonsgrøft.



Figur 3. Skjematisk snitt av infiltrasjonsgrøft.

Sommeren 1983 ble det anlagt 6 nye infiltrasjonsgrøfter. I tillegg ble det anlagt en kum med diameter 2,4 m for å bedre slamavskillingen før infiltrasjonsgrøftene. Ved hjelp av to ventiler er det mulig å drive de to infiltrasjonsområdene vekselvis.

3. OPPFØLGINGSPROGRAM

Oppfølgingen startet ca. 1. februar 1983 og avsluttet i juni 1984. I hele perioden er det tatt prøver fra innløpet og utløpet av den luftede lagunen hver 14. dag. Prøvene er tatt som stikkprøver i pumpestasjonen (innløp) og i kummen etter lagunen (utløp). Prøvetakingspunktene er nærmere angitt på figur 1. Alle prøver er analysert hos Avløpssambandet Nordre Øyeren (ANØ). Tabell 1 og 2 gir en oversikt over analyser, målinger og observasjoner som har inngått i oppfølgingsprogrammet.

Tabell 1. Oversikt over analyseparametre som har inngått i oppfølgingsprogrammet.

Parameter	Prøvetakingspunkt	Intervall	Merknad
pH	inn, ut	Hver 14 dag	Målt på lab.
KOF ufiltrert	"	"	F.o.m. 21.04.83
KOF filtrert	"	"	
BOF ₇ ufiltrert	"	"	F.o.m. 21.04.83
BOF ₇ filtrert	"	"	F.o.m. 06.07.83
Orto-fosfat	"	"	
Total-fosfor	"	"	
Spes. ledningsevne	"	"	
Tot-N	"	"	
Ammonium	"	"	
Jern	"	"	
Klorid	"	"	

Tabell 2. Oversikt over målinger og observasjoner som har inngått i oppfølgingsprogrammet.

Måling/observasjon	Sted	Intervall
Temperatur luft	Servicebygg.	daglig
Nedbør	"	"
Pumpetid	Pumpestasjon	"
Antall pumpestarter	"	"
Oksygenkonsentrasjon	Lagune 1 og 2	14 dag
pH	" " "	"

Pumpekapasitet

Tilførselspumpenes kapasitet er kontrollert ved utpumping av et kjent volum. Ved beregning av vannføring er følgende pumpekapasiteter benyttet:

Pumpe I : 8,42 l/s

Pumpe II : 7,55 l/s

Volum av luftet lagune

Lagunen er loddet opp og volumet beregnet til 350 m³. Ved beregning av oppholdstid er dette volumet benyttet.

4. MENGDE OG SAMMENSETNING AV SIGEVANN

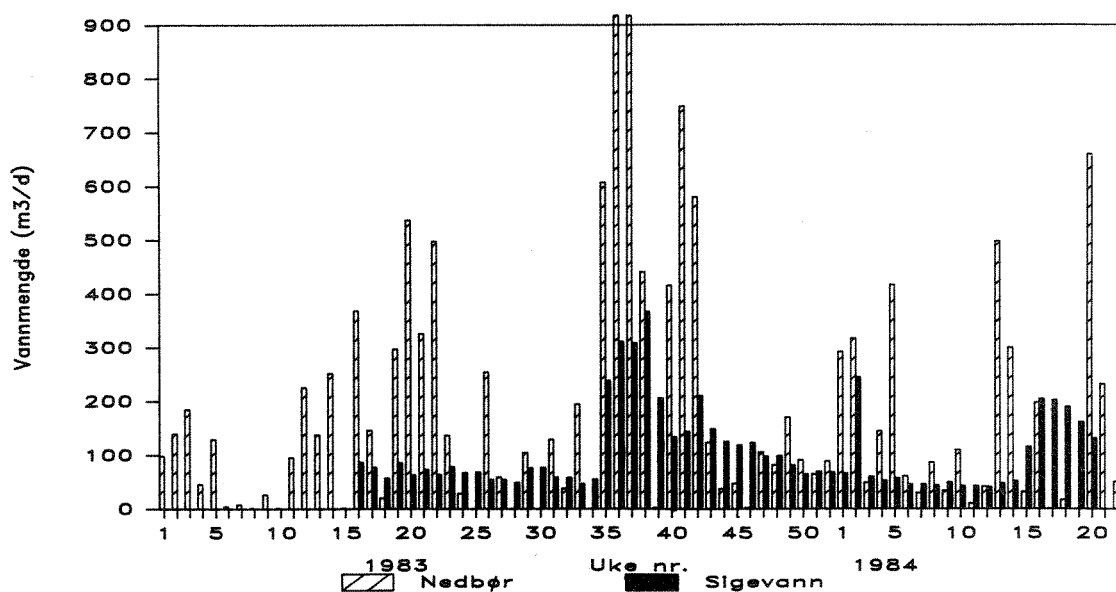
4.1. Sigevannsmengder

Ideelt sett er det bare nedbøren som faller på fyllingsoverflaten, som skal gi opphav til sigevann. Nedbørmengden som faller på fyllingsoverflaten vil bli fordelt på følgende måte:

- Fordamping
- Avrenning på overflaten
- Magasinering i avfallet
- Sigevann

Grunnvann og overflatevann vil virke som fortynningsvann på det egentlige sigevannet.

Fyllplass Dal-skog er godt skjermet fra de omliggende arealer. Minimalt med overflatevann (fremmedvann) trenger ned i fyllingen. Effektivt nedbørfelt kan derfor regnes som netto fyllingsareal, dvs. 1,9 ha. Normal nedbør i området er ca. 800 mm (7). I perioden som oppfølgingen pågikk (februar 1983 - mai 1984) falt det 868 mm nedbør. Av dette falt 183 mm som snø. I figur 4 er ukentlig nedbør og sigevannsmenge vist.



Figur 4. Nedbør og sigevannsmengde i oppfølgingsperioden.

Registrering av sigevannsmengden startet opp i uke 16 i 1983. I uke 35 ble fyllingsarealet øket fra 1,3 ha til 1,9 ha. I en periode før avfall ble lagt utover det nye fyllingsarealet, lå oppsamlingssystemet for sigevann åpent. Store nedbørmengder gjorde at sigevannsmengdene også ble store. Fra uke 51 i 1983 var det en betydelig snøakkumulering. I uke 15 i 1984 startet snøsmelingsperioden, noe som gir en sterk økning av sigevannsmengdene.

For å finne hvor stor sigevannsmengden er i forhold til nedbøren er det gjort en enkel vannbalanse for perioden mai 1983 - april 1984.

Følgende sammenheng kan settes opp for fyllingens vannbalanse:

$$P_t + V_o + Q_t = Q_a + V_t + E_t \quad (9)$$

P_t = nedbør i perioden t

V_o = opprinnelig vanninnhold i avfallet

Q_t = tilført fremmedvann i perioden t

Q_a = avrenning i perioden t (både sigevann og avrenning fra fyllingens overflate)

V_t = vanninnhold i avfallet etter tiden t

E_t = fordamping i tiden t.

Dal-skog søppelfyllplass er plassert i en dødisgrop. Hele området består av lett permeable masser. Nedbør og smeltevann vil derfor trenge ned omkring fyllingen. Tilført fremmedvann (Q_t) kan derfor settes lik 0. De topografiske forholdene gjør også at avrenningen fra fyllingens overflate kan settes lik 0. Avfallets vanninnhold er vanskelig å fastslå i dette tilfellet. Opprinnelig vanninnhold i avfall er normalt 30-35 % (6). Hvert tonn avfall kan da binde $0,4 \text{ m}^3$ vann (6). Det foreligger ikke fordampingsmålinger fra Dal-skog søppelfyllplass. Nærmeste stasjon med fordampingsmåler er Furumo (10 km i luftlinje). Middelerdien for fordamping i mai, juni, juli, august og september er her 447 mm (7). Fordampingen fra en fyllingsoverflate er mindre enn fra et naturlig felt. Usikkerheten m.h.t. avfallets vannbindingskapasitet og fordamping gjør at disse slås sammen til ett ledd. Vannbalansen for Dal-skog søppelfyllplass blir da:

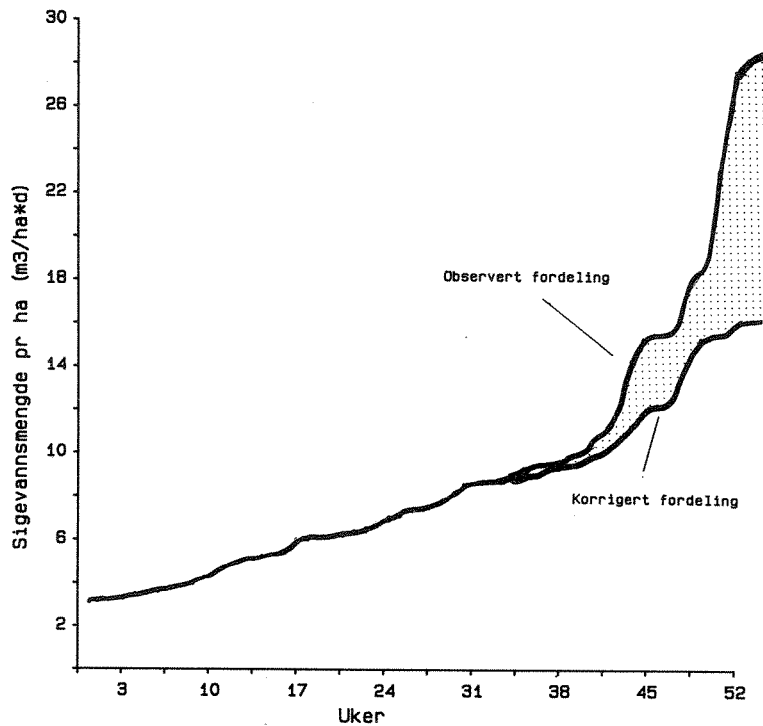
$$P_t - (V_t + V_o) - E_t - Q_a = 0$$

I tabell 3 er nedbør og sigevannsmengden beregnet.

Tabell 3. Månedlige nedbør- og sigevannsmengder for perioden mai 1983 - april 1984.

År	Måned	Nedbør P_t (m^3)	Sigevannsmengde Q_a (m^3)	Fordamping/ magasinering (m^3) $E_t + (V_t - V_o)$	Sigevannsmenge pr. ha. ($m^3/ha \cdot d$)
83	Mai	1343	310	1033	7,69
83	Juni	666	294	372	7,54
83	Juli	403	284	119	7,05
83	August	378	322	56	7,99
83	September	3163	1268	1895	22,24
83	Oktober	1874	716	1158	12,14
83	November	223	492	-269	8,63
83	Desember	1063	343	720	5,83
84	Januar	939	262	677	4,44
84	Februar	491	198	293	3,60
84	Mars	608	198	410	3,60
84	April	604	610	-6	10,7
Totalt for perioden		11755	5297	6458	7,87

For perioden mai 1983 til april 1984 utgjorde sigevannsmengden 45 % av totalnedbøren. Hvis de oppgitte tall for fordamping benyttes utgjør denne delen $6168 m^3$. Ut fra dette blir magasineringen i avfallet $290 m^3$, noe som er lavere enn det som kan forventes. Noe som gjør antagelsene om lavere fordampingsmengde mer sannsynlig. Midlere sigevannsproduksjon pr. arealenhet, er $7,87 m^3 \cdot ha/d$ beregnet på månedsbasis. I figur 5 er vist en kummulativ fordeling av sigevannsmengden beregnet på ukebasis.



Figur 5. Kumulativ fordeling av sigevannsmengde pr. arealenhet.

Variasjonsfaktorene kan benyttes ved dimensjonering av pumpestasjoner eller utjevningsmagasin for sigevann.

Følgende variasjonsfaktorer kan beregnes:

$$\begin{aligned}k_{\text{maks måned}} &= 22,24/7,87 = 2,83 \\k_{\text{min måned}} &= 3,6/7,78 = 0,46 \\k_{\text{maks uke}} &= 27,59/7,87 = 3,5 \\k_{\text{min uke}} &= 3,1/7,87 = 0,39\end{aligned}$$

Verdiene for $k_{\text{maks måned}}$ og $k_{\text{maks uke}}$ er større enn hva som kan forventes på grunn av den unormale situasjonen som oppsto i perioden da fyllingsarealet ble øket. Hvis man antar en halvering av sigevannsmengde pr. arealenhet i denne perioden, vil midlere sigevannsmengden bli $7,75 \text{ m}^3/\text{ha}\cdot\text{d}$. Verdiene for k-faktorene blir som følger:

$$\begin{aligned}k_{\text{maks måned}} &= 12,14/7,75 = 1,57 \\k_{\text{maks uke}} &= 15,93/7,75 = 2,06\end{aligned}$$

Ved tilsvarende forhold som ved Dal-skog søppelfyllplass, kan midlere sigevannsproduksjon settes lik ca. $8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}/\text{d}$. I løpet av året vil maksimal døgnavrenning komme opp i ca. $16 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}/\text{d}$, beregnet på ukebasis. Disse toppbelastningene vil vanligvis opptre noen uker om høsten og i løpet av snøsmeltingsperioden om våren.

4.2. Sigevannets sammensetning

Sammensetningen av sigevannet vil i hovedsak være avhengig av følgende faktorer:

- Avfallets sammensetning
- Komprimeringsgrad (fyllingens drift)
- Vanngjennomgang
- Forholdene inne i fyllingen (temperatur, pH, tilgangen på oksygen).

Nedbrytning av det organiske stoffet i avfallet foregår i hovedsak ved anaerobe prosesser. I de første årene etter oppstartning av en avfallsfylling vil de anaerobe prosessene bare foregå i syrefasen. I denne fasen blir det dannet store mengder organiske syrer, noe som også medfører at pH synker.

Etterhvert som de organiske syrene blir vasket ut med sigevannet vil også de metandannende bakteriene få tilfredsstillende livsvilkår. Det vil da foregå en omsetning av organisk stoff til vann og karbondioksyd. Denne endringen av nedbrytningsprosessenes forløp i takt med alder på fyllingen gjør at man må skille mellom sigevann fra unge og gamle avfallsplasser. I tabell 4 (25) er det gjort en sammenstilling som viser sammensetningen av sigevannet fra fyllinger med ulik alder. Datagrunnlaget er hentet fra Danmark, Vest-Tyskland, USA og Norge.

Tabell 4. Sammensetningen av sigevann fra avfallsfyllinger (25).

Parameter	DANMARK		VEST-TYSKLAND		USA		NORGE	
	Syre- stadiet	Metan- stadiet	Syre- stadiet	Metan- stadiet	Syre- stadiet	Metan- stadiet	Syre- stadiet	Metan- stadiet
pH	6,5	7,6	6,1	8,0	5,2	7,3	6,2	7,0
KOF	19000	4600	22000	3000	23000	81	3500	825
BOF ₅	13000	2600	13000	180	15000	-	-	-
Glødetap	6700	1500	-	-	-	-	1670	890
Flyktige syrer	6000	150	-	-	-	-	-	-
Fe	500	100	930	15	500	1,5	69	38
Ca	2000	700	1300	80	2100	250	218	173
Mg	-	-	600	250	280	81	40	58
Mn	20	-	24	0,65	49	-	-	-
Zn	10	4	5,6	0,64	45	0,16	2,7	0,085
Sr	-	-	7,2	0,94	-	-	-	-
SO ₄	-	-	1700	880	-	-	100	37
NH ₄ -N	-	800	-	740	-	-	84	141
NO ₃ -N	-	<2	-	3,3	-	-	0,68	0,02
Tot-N	-	910	-	1500	990	7,5	156	155
Cl	-	1900	-	2100	740	200	340	590
Ledningsevne	-	1600	-	-	920	140	240	305
Tørrstoff	-	12000	-	-	13000	1100	3200	890
K	-	-	-	1100	-	-	214	219
Na	-	-	-	1300	-	-	197	312
Alkalitet	150	-	-	-	-	-	-	-
Tot-P	12	-	5,7	5,0	7,4	5,0	1,6	3,3
As	<0,2	-	0,13	0,13	-	-	-	-
Pb	<0,1	-	0,087	0,087	-	-	0,015	0,001
Cd	<0,01	-	0,0052	0,0052	-	-	0,0008	0,002
Hg	<0,01	-	-	-	-	-	-	-
Cr	<0,1	-	0,28	0,28	-	-	0,17	0,027
Co	-	-	0,05	0,05	-	-	-	-
Cu	-	-	0,065	0,065	0,5	0,1	0,021	0,009
Ni	-	-	0,17	0,17	-	-	0,12	0,015
Phenol	4	-	-	-	-	-	-	-
PAH	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-

Som tabell 4 viser vil sigevannet fra unge fyllinger inneholde høye konsentrasjoner av organisk stoff (BOF₇ og KOF). Årsaken til dette er det høye innholdet av organiske syrer. Etterhvert som innholdet av organiske syrer avtar, vil også forholdet mellom BOF₇ og KOF avta. I (8) blir det rapportert om en endring fra 0,8 til 0,048 i løpet av 17 år. På samme måte vil forholdet mellom KOF og TOC avta. Det maksimale forholdet mellom KOF og TOC er 4,0 (8). I tabell 5 er vist typiske verdier for organisk stoff og forholdstall mellom de ulike parametre for organisk stoff i sigevann fra fyllinger av ulik alder.

Tabell 5. Typiske verdier for innholdet av organisk stoff og forholdstall mellom de ulike parametre.

Alder Ref. (år)	Ung fylling		Middels gammel		Gammel fylling	
	(8) 0-5	(9) 1-5	(8) 5-10	(9) 5-7	(8) >10	(9) >7
KOF (mg/l)	>10000	1000-15000	500-10000	1000-2000	<500	500-2000
BOF ₅ "	-	1000-7000	-	200-1000	-	<200
KOF/TOC	>2,8	-	2,0-2,8	-	<2	-
BOF/KOF	>0,5	0,4-0,8	0,1-0,5	0,1-0,5	<0,1	0,05-0,1

Innholdet av blant annet jern, kalsium, magnesium viser også høyere verdier i sigevann fra yngre fyllinger enn fra eldre fyllplasser.

Overgangen mellom "ungt" og "gammelt" sigevann skjer vanligvis etter 2-5 års drift. På avfallsfyllinger hvor man suksessivt tar i bruk nye arealer vil det skje en langsommere overgang fra "ungt" til "gammelt" sigevann.

Dal-skog søppelfyllplass ble tatt i bruk i oktober 1981. I tabell 6 er det gitt en oversikt over middelverdien av samtlige parametre som har inngått i oppfølgingsprogrammet. Det er også angitt verdier for sigevannet fra Dal-skog som ble benyttet i laboratorieforsøkene som ble gjennomført på NIVA vinteren og våren 1984 (12). Sigevannet til disse forsøkene ble tatt ut i februar 1984.

Tabell 6. Sammensetningen av sigevannet fra Dal-skog søppelfyllplass (middelverdier).

		Uke 16-34 1983	Uke 35-43 1984	Uke 1-13 1984	Februar 1984 (12)
pH		5,97	6,15	6,08	6,0
Alkalitet	mekv/l	-	-	-	69
Konduktivitet	m S/m	1057	561	1116	750
Klorid	mg Cl/l	1888	1035	1963	-
SS	mg/l	-	-	-	450
FSS	mg/l	-	-	-	300
KOF ufiltrert	mgO/l	17433	8090	19660	19000
BOF ₇ ufiltrert	mgO/l	13180	4546	13000	11400
KOF filtrert	mgO/l	16493	7838	19427	-
BOF ₇ filtrert	mgO/l	11475	-	-	-
TOC	mg C/l	-	-	-	5590
Flyktige syrer	mg C/l	-	-	-	1830
Total-N	mg N/l	276	-	305	-
Total Kjeldahl-N	mg N/l	-	-	-	400
NH ₄ -N	mg/l	138	101	199	380
NO ₂ -N	mg N/l	-	-	-	0,1
NO ₃ -N	mg N/l	-	-	-	0,075
Tot-P	mg P/l	1,53	0,6	0,55	<0,1
PO ₄ -P	mg P/l	0,01	0,05	0,09	<0,1
Fe	mg/l	614	354	886	482
Ca	mg/l	-	-	-	1865
Cd	mg/l	-	-	-	0,003
Cr	mg/l	-	-	-	0,12
Cu	mg/l	-	-	-	0,004
Mg	mg/l	-	-	-	210
Mn	mg/l	-	-	-	195
Pb	mg/l	-	-	-	0,003
Zn	mg/l	-	-	-	22,6

Det er angitt middelveier for tre perioder i tiden oppfølgingen pågikk. I uke 35 ble som nevnt et nytt fyllingsareal tatt i bruk. Dette førte til en periode med sterk fortynning av sigevannet. Som det fremgår er verdiene for uke 16-34 i 1983, samt verdiene for 1984 typiske for sigevann fra en ung avfallsfylling. Forholdet mellom BOF_7 og KOF (BOF_7/KOF) er i middel lik 0,66. Forholdet mellom KOF og TOC (KOF/TOC) er lik 3,39 (angitt på bakgrunn av 1 prøve). Sigevannet inneholder en stor andel lett nedbrytbart organisk stoff og er godt egnet for biologisk rensing. Nitrogeninnholdet (ammonium og organisk bundet) er noe lavere enn hva som er normalt. Fosforinnholdet er ekstremt lavt. Metallinnholdet (angitt på bakgrunn av 1 prøve) er normalt.

5. BIOLOGISK RENSING AV SIGEVANN I LUFTET LAGUNE

5.1. Resultater fra litteraturen

En rekke forsøk i liten skala, (3, 8, 13, 14, 15, 16) har vist at aerob rensing av sigevann fra "unge" søppelfyllplasser er svært effektivt. Flestparten av de nevnte undersøkelsene er gjennomført ved temperaturer omkring 20°C. I (15) er også temperaturens innvirkning på renseresultatet undersøkt. Her ble det oppnådd 95 % fjerning av KOF og 99 % av BOF₅ i laboratoriereaktorer (fill and draw) ved temperaturer ned til 9°C. I (12) ble det oppnådd 98 % fjerning av KOF og 99 % fjerning av BOF₇. Også dette i laboratorieskala, med 3 l laboratoriereaktorer som ble drevet etter "fill and draw" prinsippet. Temperaturen var her lik 2,9°C.

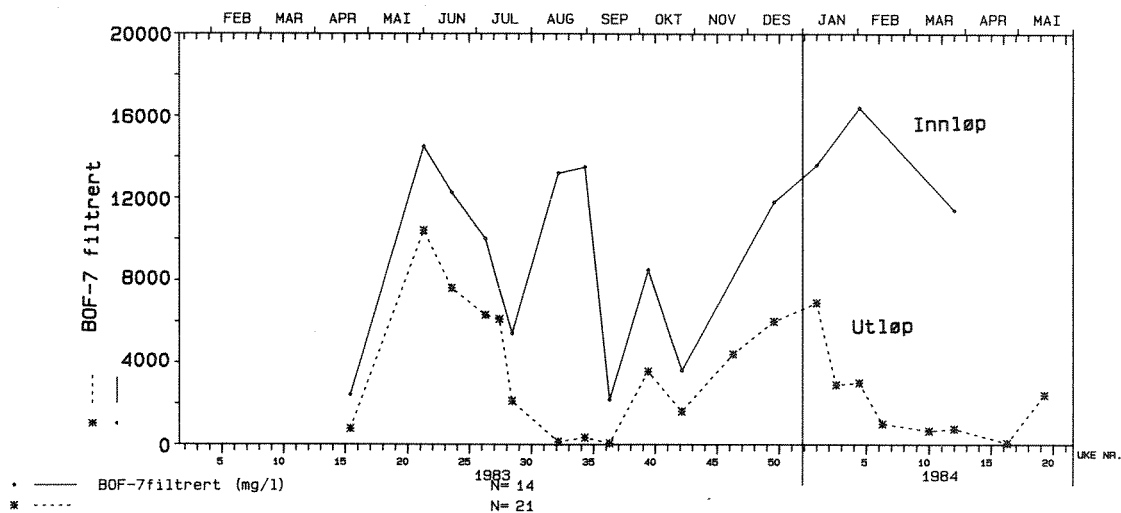
Det foreligger mindre rapportert materiale fra fullskala anlegg. I (17) er det rapportert resultater fra et aktivslamanlegg ved en italiensk søppelfyllplass. Det ble her oppnådd henholdsvis 75 % og 85 % fjerning av KOF og BOF₅. Temperaturene varierende i området 10-20°C. Slambelastningen varierte i området 0,05-0,1 kg BOF₅/kg FSS·d. Fra en langtidslufter ved Gram søppelfyllplass i Danmark (18) er det oppnådd utløpskonsentrasjoner for BOF₅ og KOF i området 10-100 og 400-800 mg/l. Temperaturen varierte i området 10-20°C og den organiske belastningen varierte fra 0,15-0,2 kg KOF/kg FSS·d. Fra den luftede lagunen ved søppelfyllplassen i Lingen Vest-Tyskland foreligger en omfattende dokumentasjon (19) i form av resultater og driftserfaringer.

Ingen av de nevnte anleggene drives under vinterforhold tilsvarende det som kan forventes i Norge.

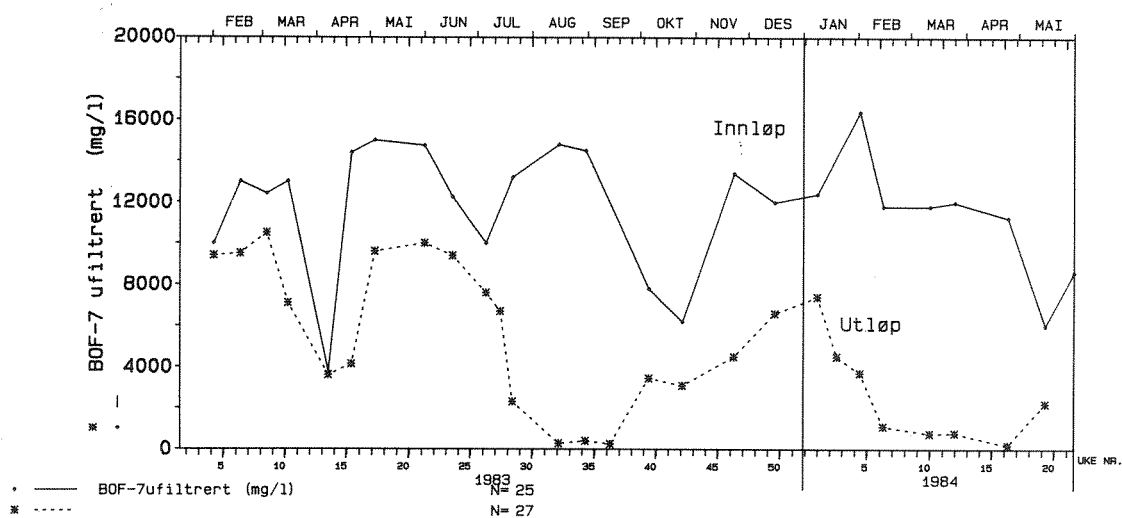
5.2. Resultater fra Dal-skog søppelfyllplass

5.2.1. Fjerning av organisk stoff

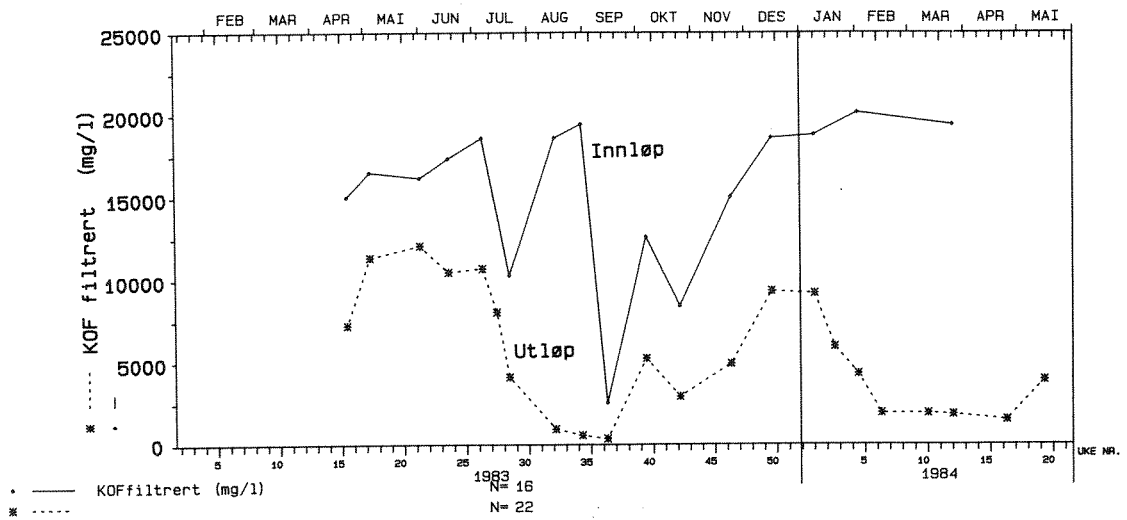
I figur 6, 7, 8 og 9 er innløps- og utløpskonsentrasjoner for BOF₇ filtrert og ufiltrert samt KOF filtrert og ufiltrert, vist for perioden januar 1983 til mai 1984.



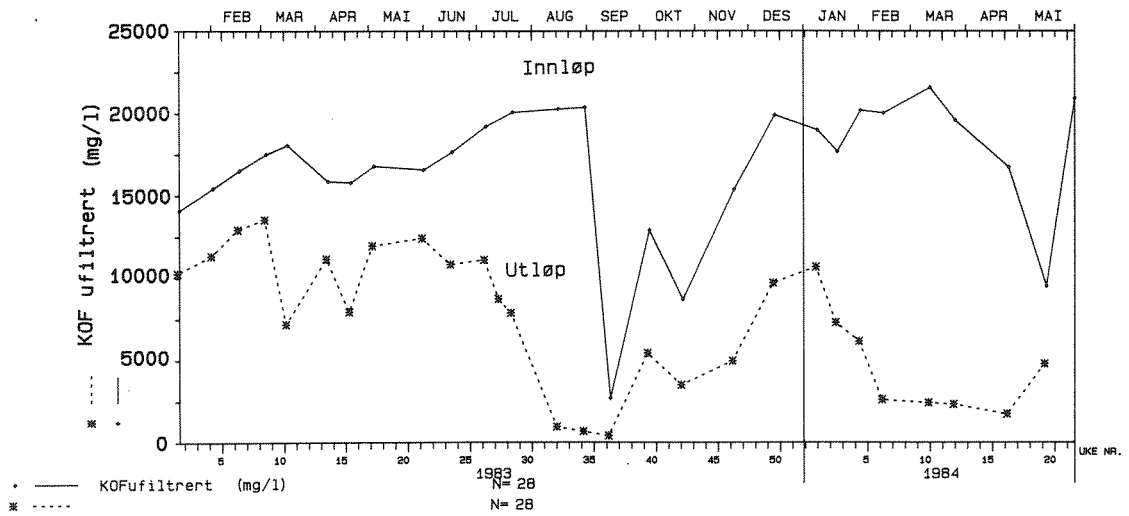
Figur 6. Konsentrasjonen av BOF₇ fyllert inn og ut av lagunen.



Figur 7. Konsentrasjonen av BOF₇- ufillert inn og ut av lagunen.



Figur 8. KOF_filtrert inn og ut av lagunen.



Figur 9. KOF_ufiltrert inn og ut av lagunen.

Av figur 6 til 9 fremgår det tydelig at lagunen fungerte dårlig fra januar 1983 og frem til juni 1983. Midlere renseeffekt for $KOF_{\text{ufiltrert}}$ var ca. 34 %. For BOF_7 var renseeffekten bare 28 %. I middel var forholdet BOF_7/KOF i utløpet lik 0,71 i samme periode. Basert på middelverdiene for BOF_7 , Tot-N og Tot-P var forholdet $BOF_7:N:P$ lik 7800:188:1. Sammenlignet med det nødvendige teoretiske forholdet lik 100:5:1 var det betydelig fosformangel i lagunen. Fosformangel ved aerob biologisk rensing av sivevann er rapportert både fra laboratoriestudier (13) og (15) fra fullskala anlegg (17, 18, 19). Fosformangelens hemmende virkning ble verifisert i laboratorieforsøk (5). Disse forsøkene viste at tilsetning av både nitrogen og fosfor ikke hadde noen ytterligere positiv virkning i forhold til tilsetning av bare fosfor. Det samme var også tilfelle i laboratorieforsøket (12) med biologisk rensing av sivevann fra Dal-skog søppelfyllplass, gjennomført på NIVA vinteren og våren 1984. Der ble fosfor og nitrogen tilsatt slik at det ble opprettholdt et forhold på 100:5:1.

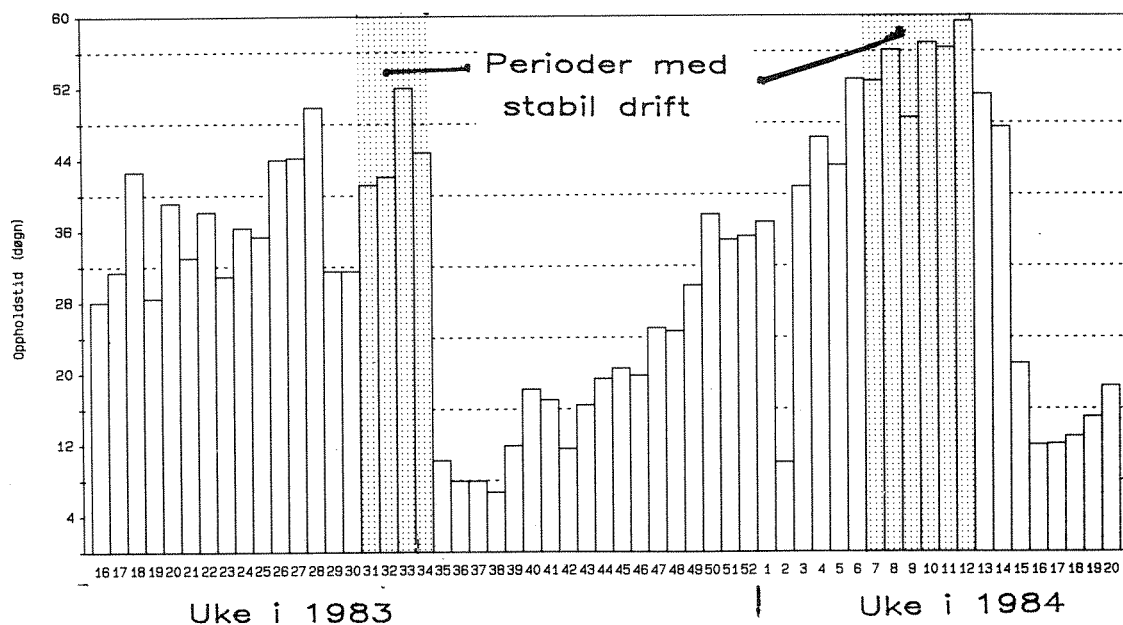
I juli 1983 ble tilsetning av fosfor igangsatt. Dette ble gjort ved daglig tilsetning av gjødselproduktet monokalsiumfosfat til lagunen. Monokalsiumfosfat inneholder 22 % P. Dette medførte en øyeblikkelig bedring av renseeffekten. I denne perioden ble det tilsatt fra 1 til 2,5 kg fosfor til lagunen pr. uke. Forholdet mellom BOF_7 , N og P varierte fra 680:14:1 til 290:6,2:1.

I september 1983 øket den hydrauliske belastningen betydelig, samtidig var tilsetningen av fosfor for lav. Dette medførte at renseeffekten igjen avtok.

I desember 1983 ble tilsetningen av fosfor igjen øket. Forholdet mellom BOF_7 , N og P var i middel lik 520:12,2:1. I januar, februar og mars 1984 øket igjen renseeffekten for BOF_7 til 93 % og til 88 % for KOF. I forbindelse med snøsmeltingen i april 1984 skjedde en betydelig økning i både hydraulisk belastning og tilført mengde organisk stoff. I januar og februar 1984 ble det i gjennomsnitt tilført 130 kg KOF/d. I slutten av april var denne mengden øket til 200 kg KOF/d. Oksygenkonsentrasjonen i lagunen avtok til under 0,5 mg O_2/l . Det ble ikke foretatt noen økning av tilsetningen av fosfor i takt med den økte tilførselen av organisk stoff, slik at fosformangel igjen oppsto. Renseeffekten for KOF avtok til 59 %.

5.2.2. Hydraulisk og organisk belastning

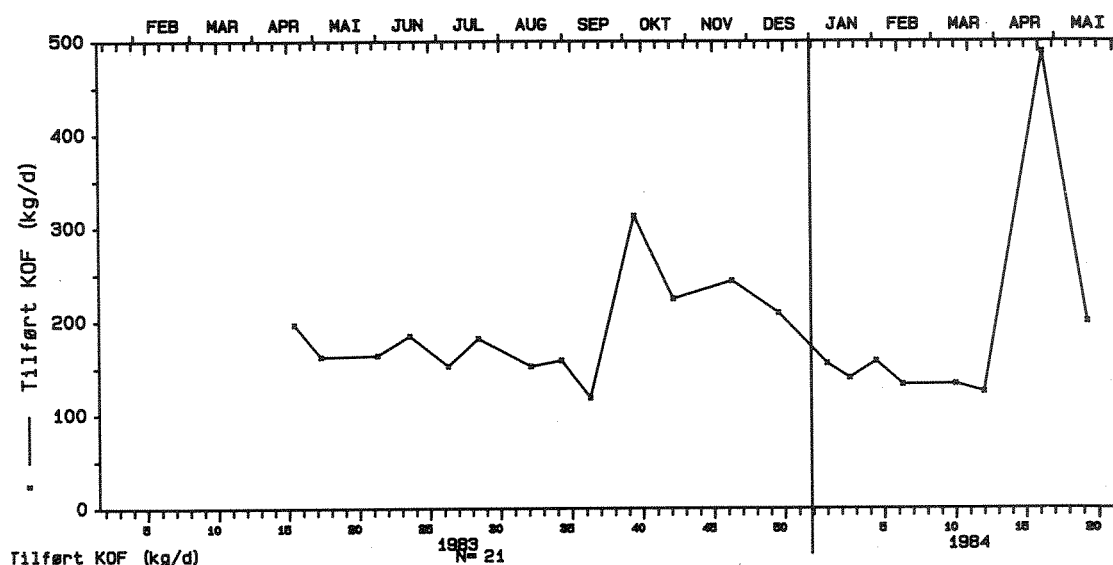
Den luftede lagunen har i løpet av oppfølgingsperioden hatt to perioder med tilnærmet stabile driftsforhold. I figur 10 er hydraulisk oppholdstid i lagunen vist.



Figur 10. Hydraulisk oppholdstid i lagunen ved Dal-skog søppelfyllplass.

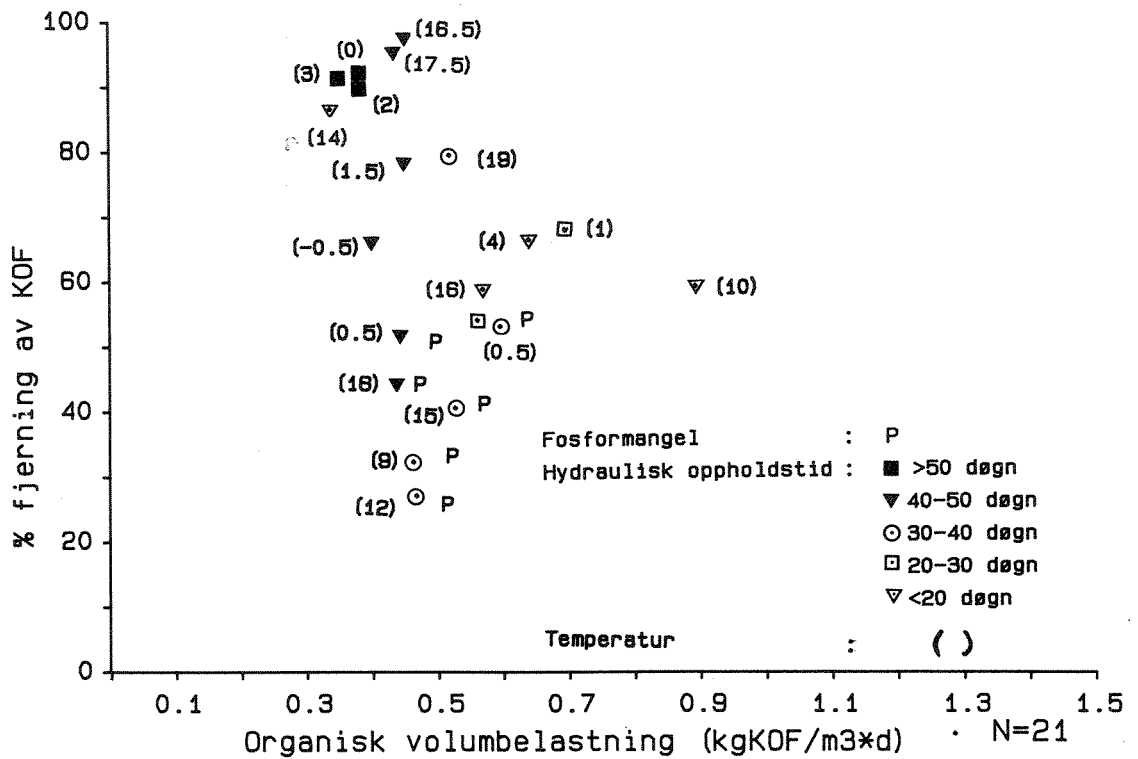
Hydraulisk oppholdstid var i august 1983 og februar-mars 1984 henholdsvis 45 og 55 døgn. Av figuren fremgår også at snøsmeltingsperiodene i siste halvdel av april medfører at den hydrauliske oppholdstiden i lagunen blir redusert til ca. 12 døgn.

Tilførsler av organisk stoff til lagunen er fremstilt i figur 11.



Figur 11. Tilførsel av organisk stoff (KOF) til lagunen i oppfølgingsperioden.

Ved økning av sigevannsmengden til lagunen, øker også den organiske belastningen, mest markert er dette snøsmeltingsperioden i slutten av april 1984. Utvasking av blant annet organiske syrer som er akkumulert i fyllingen er en sannsynlig forklaring på denne effekten. Tilsvarende observasjoner er rapportert fra Isi søppelfylling i Bærum (6). I en periode i april og mai var derfor den luftede lagunen organisk overbelastet. Dette ga seg også til uttrykk i form av i lave oksygenkonsentrasjoner (se pkt. 5.2.4).



Figur 12. % fjerning av KOF som funksjon av organisk volumbelastning.

Det er umulig å gi en entydig sammenheng mellom organisk volumbelastning og fjerningen av organisk stoff fordi faktorer som fosformangel og oksygenkonsentrasjon virker forstyrrende inn. I tillegg varierer temperaturen. I figur 12 er % fjerning av KOF fremstilt som funksjon av organisk volumbelastning. Det er stor spredning i oppnådd renseseffekt for samme belastning og tilnærmet lik temperatur. I tabell 7 er de mest sentrale driftsparametrene for de to periodene med stabile driftsforhold angitt.

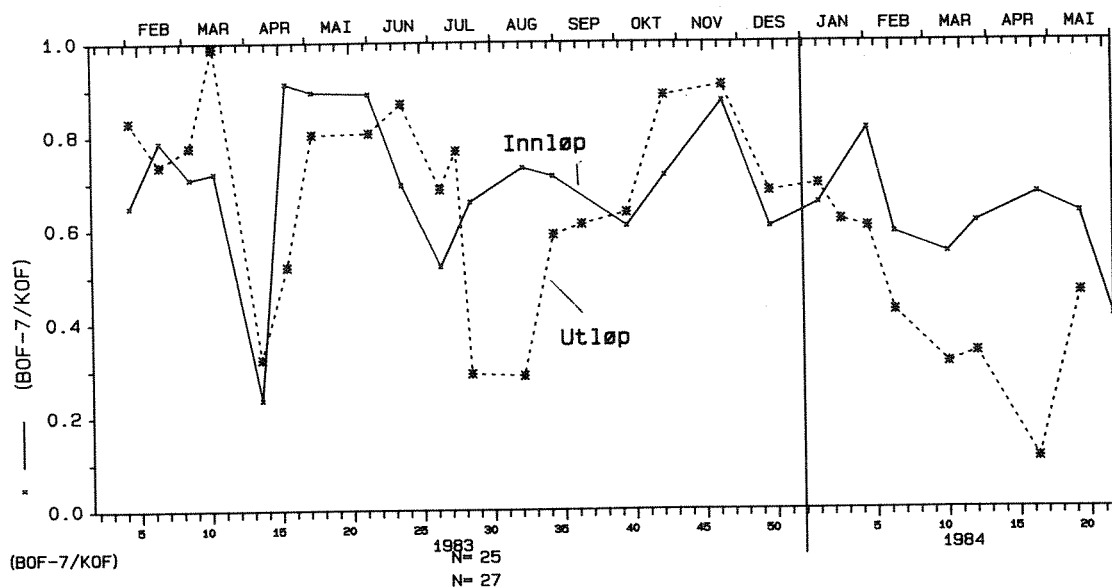
Tabell 7. Belastningsparametere i periodene med stabile driftsforhold i lagunen.

Periode	Middeltemp. i lagune (°C)	Midlere oppholdstid (d)	KOF _u filtrert				BOF ₇ ufiltrert			
			Organisk belastning (kg KOF/m ³ ·d)	Innløp (mg/l)	Utløp (mg/l)	%-fjerning	Organisk belastning (kg BOF ₇ /m ³ ·d)	Innløp (mg/l)	Utløp (mg/l)	%-fjerning
Aug. 83	18,3	45	0,45	20310	819	96	0,32	14650	338	98
Feb.-mars 84	1,7	55	0,37	20390	2443	88	0,22	11867	875	93
			KOF _f filtrert				BOF ₇ filtrert			
Aug. 83	18,3	45	0,45	19012	759	96	0,32	13350	225	98
Feb.-mars 84	1,7	55	0,37	19390	1869	90	0,22	11400	800	93

Det foreligger lite rapportert materiale som omhandler renseseffektens avhengighet av belastningen på fullskala anlegg. I (19) er belastningstall fra laguneanlegget i Lingen (Vest-Tyskland) rapportert. Der ble det oppnådd 70 % fjerning av BOF₅ filtrert ved en belastning lik 0,19 kg BOF₅/m³·d, samt mer enn 99 % fjerning ved belastninger lavere enn 0,05 kg BOF₅/m³·d. Temperaturen er ikke angitt. Sammenlignet med disse tallene viser resultatene fra Dal-skog høyere renseseffekter for tilnærmet samme belastning.

5.2.3. Endring av forholdet BOF₇/KOF i løpet av oppfølgingsperioden

I den biologiske rensesprosessen vil det lett nedbrytbare organiske stoffet bli fjernet først. Det kan derfor forventes at forholdet mellom BOF₇ og KOF vil være lavere i utløpet enn i innløpet i perioden da lagunen fungerer tilfredsstillende. I figur 10 er forholdet mellom BOF₇ og KOF i innløpsvann og utløpsvann fremstilt.



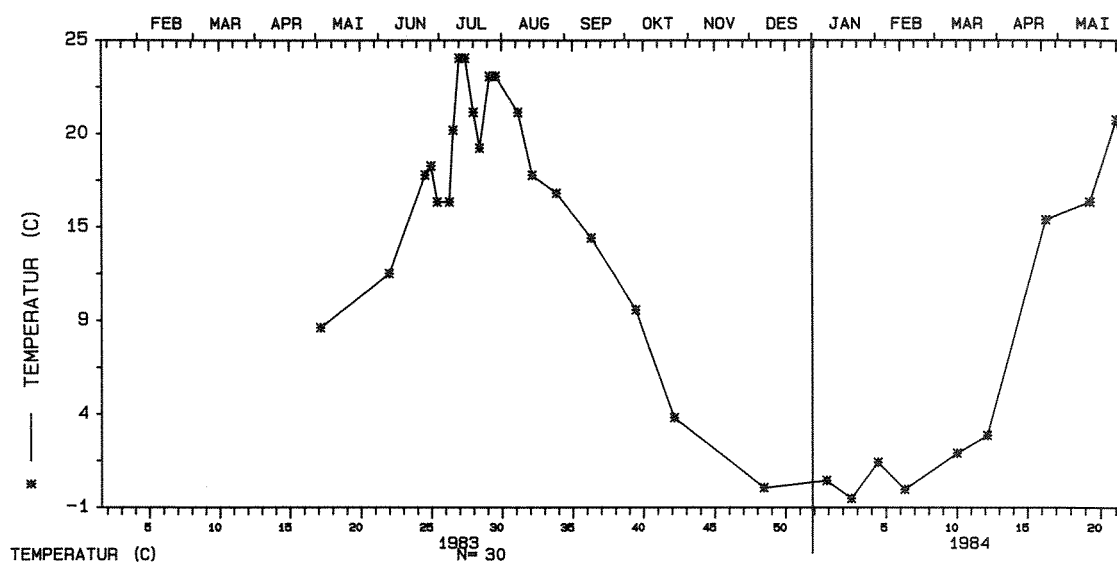
Figur 13. Forholdet mellom BOF_7 og KOF i innløpsvann og utløpsvann.

Den økede biologiske aktiviteten ved tilsetning av fosfor fremgår tydelig ved at forholdet mellom BOF_7 og KOF i utløpsvannet avtar fra ca. 0,7 til i underkant av 0,3. Et forhold på 0,3 viser imidlertid at det fortsatt er lett nedbrytbart organisk stoff tilstede i utløpsvannet.

5.2.4. Temperatur, pH og O_2 -innhold i lagunen i løpet av oppfølgingsperioden

Temperatur

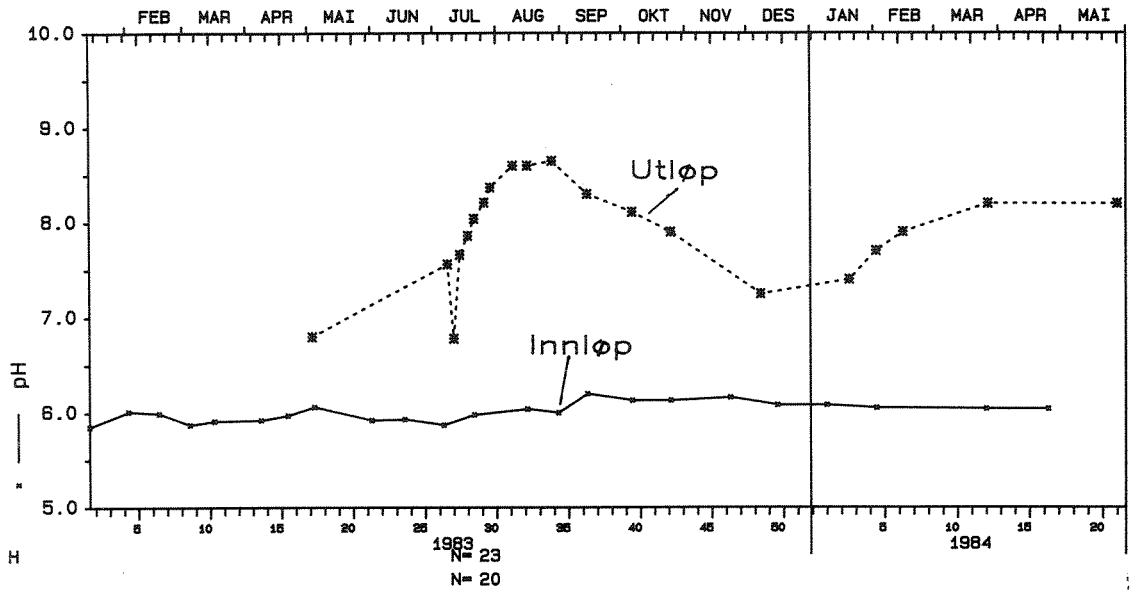
Temperaturen i lagunen varierte i området $24-0^{\circ}C$. Temperaturen over $20^{\circ}C$ ble registrert bare i en kort periode i juli og august. Fra midt i november og frem til utgangen av februar 1984, ble det registrert temperaturer omkring $0^{\circ}C$ i lagunen. Temperaturen på sigevannet slik det kommer fra pumpestasjonen ble målt til $9^{\circ}C$ i februar 1984. Selv ved ca. $0^{\circ}C$ ble det bare registrert mindre isdannelse langs kanten av lagunen. Vinteren 1983 var lagunen fullstendig dekket av is. Grunnen til at det ikke skjedde noen isdannelse vinteren 1984 kan være at middeltemperaturen i vintermånedene var noe høyere enn i 1983. Effekten av isdannelsen er ikke studert gjennom dette prosjektet. Figur 14 viser temperaturen i lagunen i løpet av oppfølgingsperioden.



Figur 14. Temperaturvariasjonen i lagunen i løpet av oppfølgingsperioden.

pH

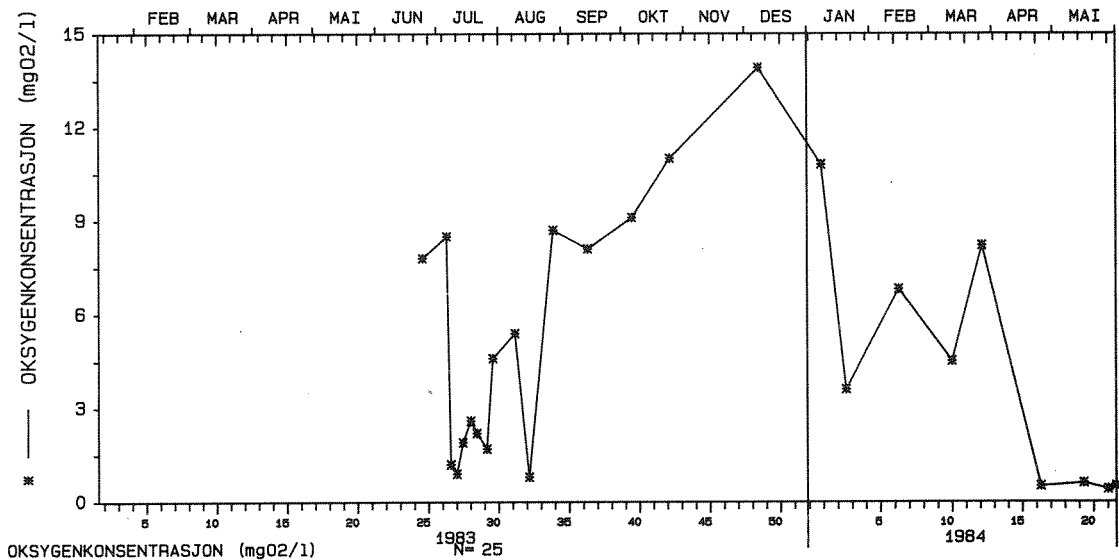
Det høye innholdet av organiske syrer i sigevannet fra en ung fylling gjør at pH vil være lav (5,5-6,0). Nedbrytningen av organiske syrer fører til en markert pH-hevning i lagunen. Dette var også tilfellet i perioden med stabil drift av lagunen på Dal-skog. pH-variasjonen på innløpsvann og utløpsvann i oppfølgingsperioden er vist i figur 15.



Figur 15. pH i innløp og utløp i oppfølgingsperioden.

Oksygen

Oksygenkonsentrasjonen i lagunen har vært holdt over 2 mg O₂/l i hele oppfølgingsperioden bortsett fra en kort periode etter at tilsetningen av fosfor startet, og i mai 1984. I figur 16 er variasjonen i oksygenkonsentrasjon i lagunen vist.

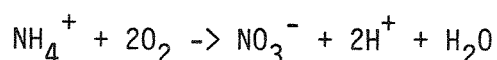


Figur 16. Variasjonen i O₂-konsentrasjon i lagunen i løpet av oppfølgingsperioden.

Utover høsten 1983 steg oksygenkonsentrasjonen jevnt. Dette var et resultat av fallende temperatur, redusert biologisk aktivitet og unødige stor lufttilførsel til lagunen. I bilag 2 er det gjort en overslagsmessig beregning av luftbehovet. Blåsemaskinenes spesifikasjoner angir at kapasiteten er lik 17,5 m³ luft mot 2 m vanntrykk. Med begge blåsemaskiner i drift utgjør dette 6 m³ luft/m³ lagune · h. De målte oksygenkonsentrasjoner tyder på at ytelsen er mindre enn dette. Det er ikke mulig å registrere hverken trykk eller luftmengde i luftsystemet. Både figur 16 og beregningene i bilag 2 viser imidlertid betydningen av å kunne variere lufttilførselen i takt med behovet.

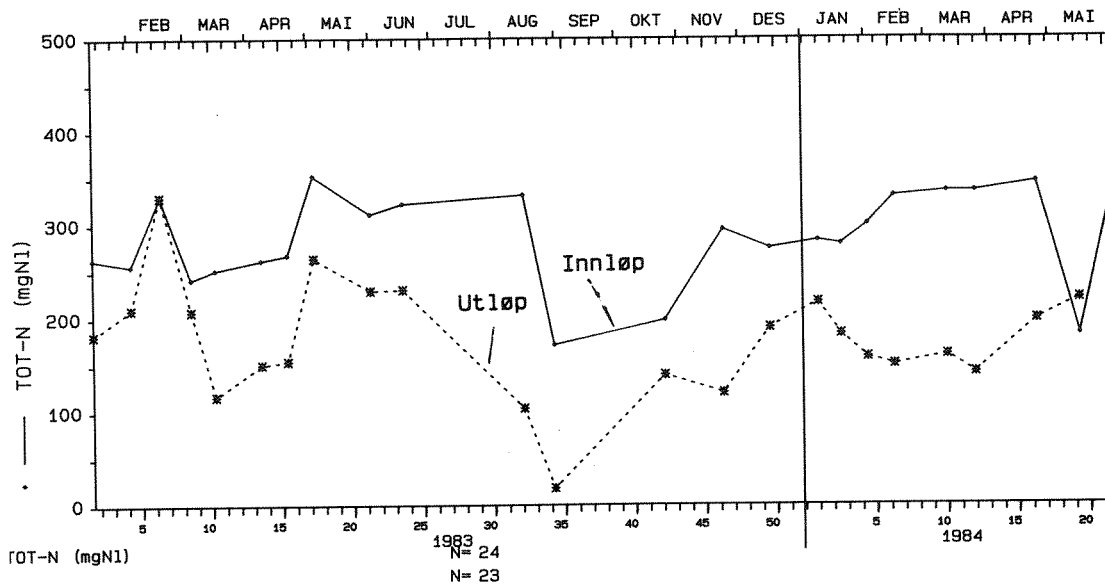
5.2.5. Nitrogen

Nitrogen i sigevann foreligger i overveiende grad som ammonium (NH₄⁺) (11). Ved den biologiske rensingen medgår noe av nitrogenmengden til dannelse av nye celler. Ved pH verdier over 7,0 vil en del av ammoniummengden foreligge som ammoniakk (NH₃). Luftinnblåsningen i lagunen gjør at en del av ammoniakkgassen kan bli drevet av. Forbruk ved cellyntesen, samt avdriving som amoniakk representerer en netto fjerning av nitrogen fra sigevannet. Ved tilstrekkelige lange oppholdstider vil det kunne foregå nitrifikasjon i lagunen etter nedenforstående ligning.



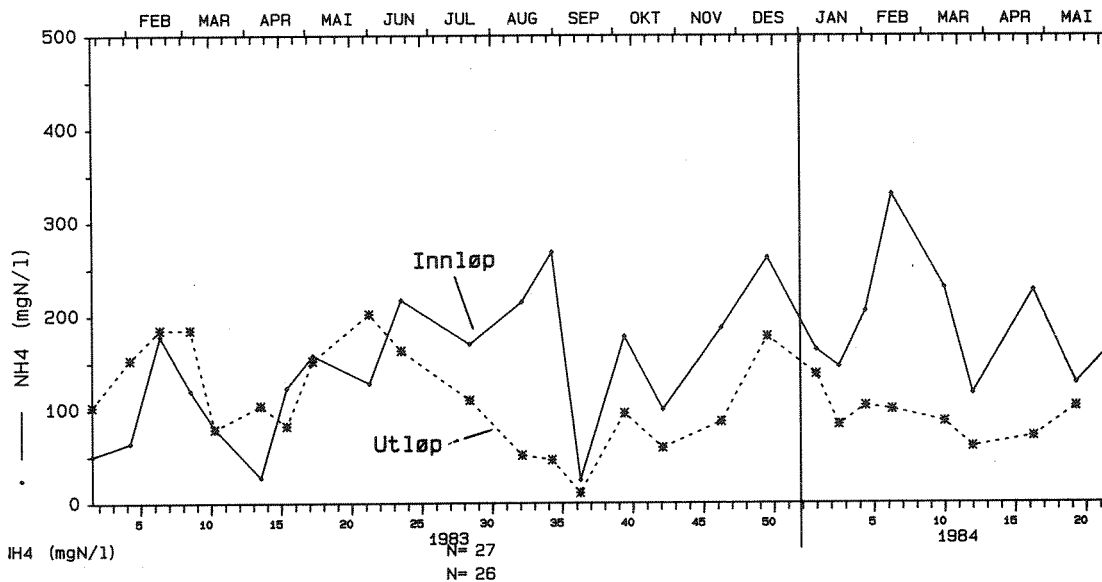
Nitrifikasjonen er en oksygenforbrukende prosess, det er derfor svært positivt hvis dette foregår i lagunen og ikke i den etterfølgende resipienten.

I figur 17 er vist innløps- og utløpskonsentrasjoner for total-N.



Figur 17. Innløps og utløpskonsentrasjoner for tot-N i løpet av oppfølgingsperioden.

I figur 18 er variasjoner i ammoniumkonsentrasjonen (NH_4^+) vist.

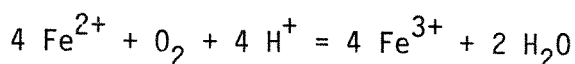


Figur 18. Variasjoner i ammoniumkonsentrasjonen i løpet av oppfølgingsperioden.

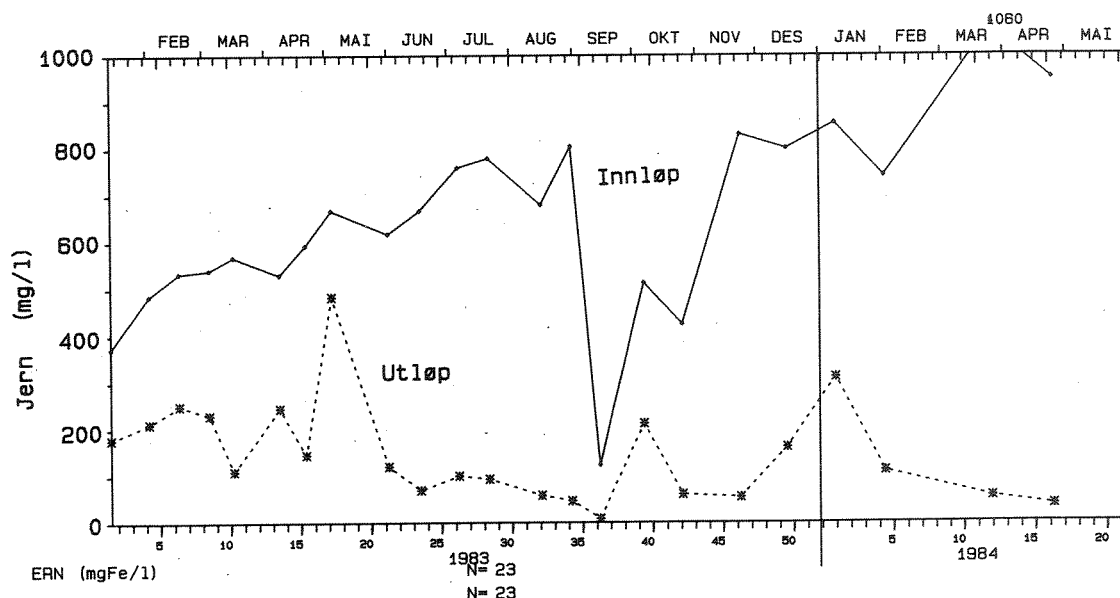
Bortsett fra de to periodene med tilnærmet stabil drift i løpet av sommeren 1983 og vinteren 1984 fulgte innløps og utløpskonsentrasjonen for ammonium hverandre. I de to nevnte periodene skjedde et drastisk fall i ammoniumkonsentrasjonen i utløpet fra lagunen. Oppfølgingsprogrammet inneholdt ikke nitratanalyser. Det er imidlertid lite trolig at denne reduksjonen i ammoniuminnholdet er forårsaket av nitrifikasjon. Erfaringen fra laboratorieforsøkene (12) viser at nesten all fjerning av ammonium var forårsaket av behovet for nitrogen ved celsesyntesen. Sommeren 1983 kan det også ha skjedd en viss avdrivning av ammoniakk (NH_3) som følge av høy pH i lagunen.

5.2.6. Jern

Som vist i tabell 3 inneholder sigevannet tildels høye konsentrasjoner av jern. De anaerobe forholdene i fyllingen gjør at jernet foreligger i toverdlig form. Ved luftingen i lagunen blir jernet oksydert til treverdlig etter flg. ligning:



Utfellingen av treverdlig jern forårsaker at sigevannet i lagunen får en brunrød farge. I figur 19 er konsentrasjonen av jern i innløp og utløp fremstilt.

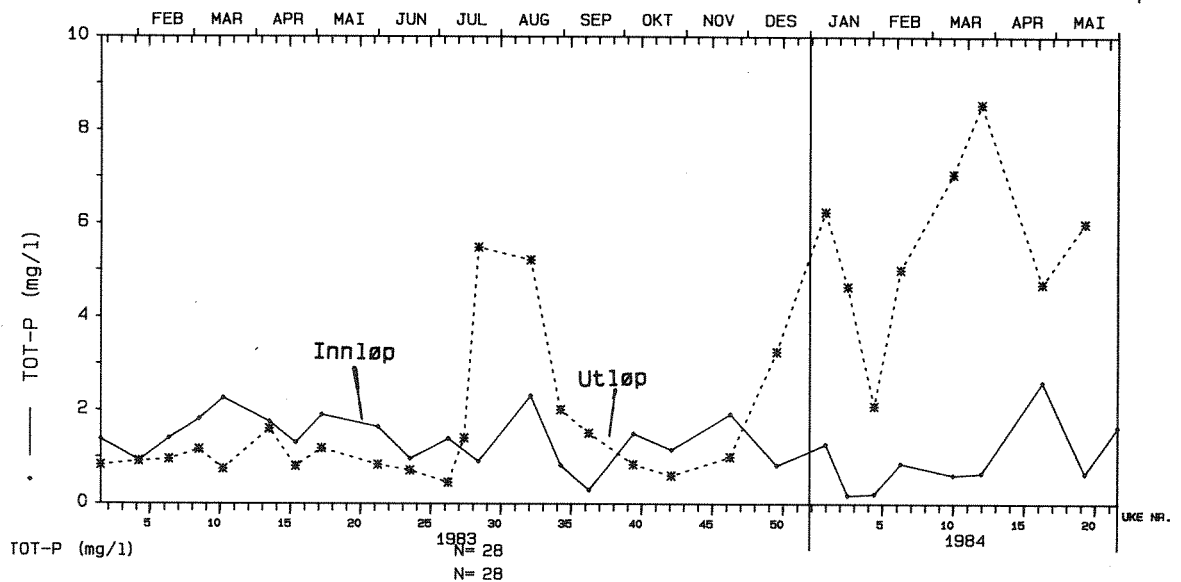


Figur 19. Konsentrasjonen av jern i innløp og utløp fra den luftede lagunen.

Som det fremgår er det en betydelig fjerning av jern i lagunen. Analysene er gjort på ufiltrerte prøver. I laboratorieforsøkene (12) ble det oppnådd restkonsentrasjoner av jern lavere enn 1 mg Fe/l. Oppholdstiden var da 40 døgn og pH lik 8.6.

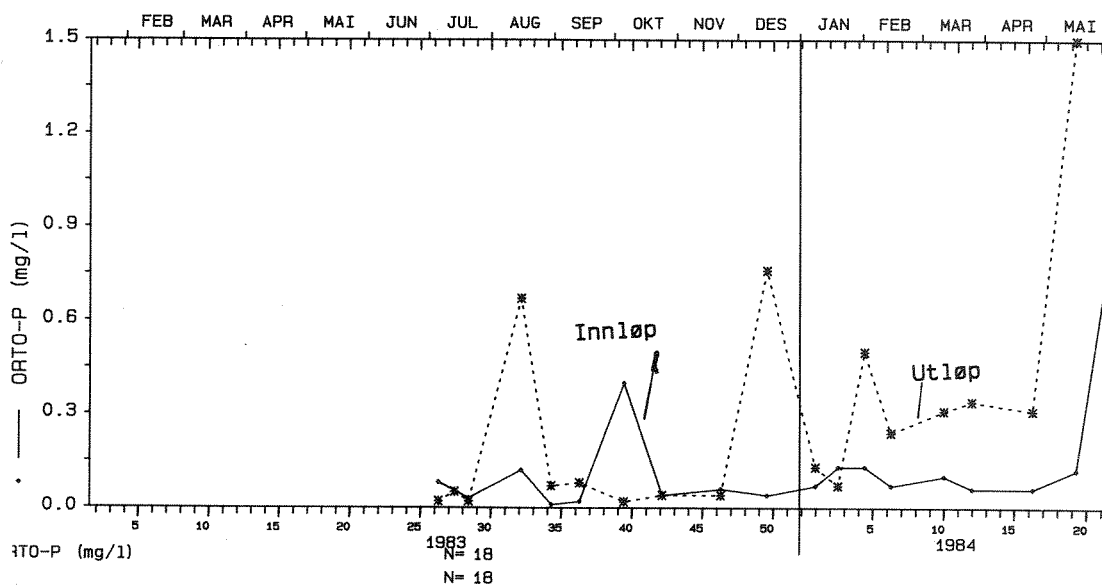
5.2.7. Fosfor

I forhold til innholdet av organisk stoff, er innholdet av fosfor i sigevannet svært lavt. Middelkonsentrasjonen for henholdsvis Tot-P og Orto-P er henholdsvis 1,25 og 0,13 mg P/l. I figur 20 og 21 er konsentrasjonen av Tot-P og Orto-P vist.



Figur 20. Konsentrasjonen av Tot-P inn og ut av lagunen i oppfølgingsperioden.

Som figurene viser er utløpskonsentrasjonen høyere enn innløpskonsentrasjonen etter at doseringen av fosfor startet. Dette viser at det er en forholdsvis dårlig utnyttelse av det tilsatte monokalsiumfosfat.



Figur 21. Konsentrasjonen av Orto-P inn og ut av lagunen i oppfølgingsperioden.

5.3. Konklusjoner

I løpet av oppfølgingsperioden som pågikk i ca. 15 måneder hadde lagunen i juli-august 1983 og i mars og deler av april 1984, tilnærmet stabile driftsforhold. I disse periodene ble det oppnådd h.h.v. 98 og 93 % fjerning av BOF_7 . Når innløpskonsentrasjonen av BOF_7 er i området 10.000-15.000 mg/l, betyr dette at utløpsvannet fortsatt inneholder lett nedbrytbart organisk stoff. For å oppnå utløpskonsentrasjoner tilsvarende biologisk rensert avløpsvann må det anvendes oppholdstider som er betydelig lengre enn 60 døgn. Oppholdstider i denne størrelsesorden kan skape isproblemer i vinterperioden. For å øke lagunens effektivitet bør det gjennomføres returpumping av slam fra sedimenteringsenheten etter lagunen og tilbake til selve lagunen. Det bør også gjennomføres en undersøkelse for å finne frem til andre aktuelle fosforkilder.

6. DRIFT AV LUFTET LAGUNE

En luftet lagune er et enkelt renseanlegg sammenlignet med renseanlegg for normalt kommunalt avløpsvann. Erfaringene som er kommet frem i løpet av oppfølgingsperioden ved Dal-skog viser at det er av avgjørende betydning med regelmessig tilsyn. På et anlegg av størrelse tilsvarende Dal-skog vil det være behov for fra 5-10 timer tilsyn pr. uke i gjennomsnitt. Et renseanlegg for sigevann på en søppelfyllplass kan lett bli en isolert enhet. Driften av anlegget bør derfor skje under ledelse av eller i samarbeid med de i kommunen som har ansvaret for driften av de kommunale renseanleggene. Hvis det er dannet et interkommunalt selskap som gir driftsassistanse eller har ansvaret for drift av renseanlegg i området, bør også renseanlegg for sigevann inngå i denne ordningen. Regelmessig måling av følgende sentrale parametre er en viktig del av den daglige driften:

- Oksygenkonsentrasjon

Sigevannets høye innhold av lett nedbrytbart organisk stoff gjør at oksygenvikt i lagunen kan oppstå. Det bør være et mål å opprettholde en oksygenkonsentrasjon større eller lik 2 mg O₂/l i lagunen. Oksygenmålinger bør gjennomføres daglig, derfor bør søppelfyllplasser med luftet lagune være utstyrt med elektronisk O₂-meter. Av økonomiske grunner bør ikke oksygenkonsentrasjon få stige over 4-5 mg O₂/l (jfr. figur 16) Et O₂-meter vil derfor raskt bli inntjent i form av innsparte energiutgifter.

- pH

I en luftet lagune som fungerer tilfredsstillende vil pH variere i området 8.2-8.8. Fallende pH i lagunen er normalt et uttrykk for driftsforstyrrelser. Det kan være for kort oppholdstid, fosformangel, lav temperatur etc. Søppelfyllplasser med luftet lagune bør utstyres med elektronisk pH-meter.

- Temperatur

Temperaturen kan ikke påvirkes, den vil følge lufttemperaturen. Temperaturmålinger i lagunen bør likevel inngå i den prosesstekniske driftskontrollen. På bakgrunn av blant annet temperaturmålinger kan man avgjøre når den hydrauliske oppholdstiden må økes.

- Sigevannsmengde

Vannmengden benyttes ved beregning av hydraulisk oppholdstid. Kontroll med tilført mengde sigevann er derfor viktig. Ekstremt høye konsentrasjoner av organisk stoff, samt lave fosforkonsentrasjoner, gjør at tilsetning av fosfor ofte er en forutsetning for å oppnå biologisk aktivitet i lagunen.

7. DIMENSJONERING OG UTFORMING AV LUFTET LAGUNE FOR RENSING AV SIGEVANN

7.1. Generelt

Å gi anbefalte dimensjoneringskriterier for luftede laguner er vanskelig med utgangspunkt i oppfølgingsperioden ved Dal-skog søppelfyllplass. Årsakene til dette er i første rekke at lagunen hadde ustabil drift på grunn av fosformangel og en periode med store sigevannsmengder. Inntil ytterligere erfaringsmateriale foreligger er belastningstallene som her er angitt å betrakte som foreløpig.

7.2. Krav til utløpsvannets kvalitet

Et krav om rensing av sigevannet må også inneholde nærmere spesifiserte krav til vannkvaliteten etter rensing. Utløpskonsentrasjoner av organisk stoff som kan oppnås ut fra en luftet lagune vil variere i løpet av året. Den mest kritiske perioden vil være i løpet av snøsmeltingsperioden om våren. Forutsatt en innløpskonsentrasjon for KOF lik ca. 20.000 mg/l og ca. 13.000 mg/l for BOF₇, kan det under optimale forhold forventes følgende utløpskonsentrasjoner.

	BOF ₇ (mg/l)	KOF (mg/l)
Sommer	50-300	500-1000
Vår/høst	500-1000	1500-2500
Vinter	300-600	1000-2000

I tilfeller hvor det ut fra resipienthensyn settes svært strenge krav til rensing bør andre metoder benyttes.

7.3. Dimensjonerende sigevannsmengder

En hovedforutsetning ved rensing av sigevann er at minimalt med fremmedvann kommer i kontakt med avfallet. Dette betyr at det må etableres en effektiv skjerming mot grunnvannet. I tillegg må det graves avskjærende grøfter for å hindre overflatevann å renne inn på søppelfyllingen. Sigevannsmengden vil nå i stor grad være avhengig av de

lokale nedbørforhold. For områder med årsnedbør lik 800-1000 mm kan midlere sigevannsmengder anslås til ca. 40 % av årsnedbøren som faller på fyllingen.

7.4. Dimensjonerende hydraulisk og organisk belastning

Dimensjonerende oppholdstid i den luftede lagunen bør settes til 60 døgn. Dimensjonerende organisk belastning blir da $0,3 \text{ kg KOF/m}^3 \cdot \text{d}$, eller ca. $0,2 \text{ kg BOF}_7/\text{m}^3 \cdot \text{d}$. Lagunen må utformes slik at om ønskelig bare deler av volumet kan benyttes. Lagunen bør være delt i minimum tre deler, slik at effektivt volum kan varieres.

7.5. Dimensjonerende luftbehov

Det bør til enhver tid være et oksygenoverskudd på $1,5\text{-}2 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Dimensjonerende lufttilførsel bør settes til $3,5 \text{ m}^3 \text{ luft/m}^3 \text{ lagune} \cdot \text{h}$. Luftesystemet bør være slik utformet at det er mulig å redusere lufttilførselen til $1 \text{ m}^3 \text{ luft/m}^3 \text{ lagune} \cdot \text{h}$.

7.6. Avskilling av suspendert stoff

Lagunen bør ha en separat enhet for avskilling av suspendert stoff. Det kan benyttes to separate sedimenteringslaguner som drives intermitterent.

8. DRIFTSERFARINGER MED INFILTRASJONSANLEGG FOR RENSET SIGEVANN

Det er ikke foretatt noen inngående studie av infiltrasjonsanlegget. Oppfølgingen har vært av visuell karakter, ved at driftspersonalet har fulgt med på oppstuvingen i anlegget. Det er også foretatt oppgraving av en infiltrasjonsgrøft.

I løpet av vinteren 1983 ble det en betydelig oppstuvning i anlegget. Infiltrasjonsanlegget hadde da vært i drift i ca. 10 måneder. Den 16.03.83 var vannspeildet i infiltrasjonsområdet bare ca. 50 cm under markoverflaten. Ved oppgraving av en infiltrasjonsgrøft sommeren 1983, bar området i en radius på 125 cm rundt infiltrasjonsrøret tydelig preg av anaerobe forhold. Inne ved infiltrasjonsrøret var sanden og grusen svart og gikk gradvis over til en gråtone lengst bort fra røret. Totalt infiltrasjonsareal var 375 m^2 . Med en midlere vannføring på $9,5 \text{ m}^3/\text{d}$ blir det en midlere arealbelastning lik $25 \text{ l}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$.

Sommeren 1983 ble det anlagt et nytt og like stort infiltrasjonsområde. I tillegg ble det anlagt en kum med diameter 2,4 m for å forbedre fjerningen av suspendert stoff foran infiltrasjonsområdet. Vinteren 1984 ble det på nytt registrert oppstuvning. I løpet av sommeren 1984 var også det nye infiltrasjonsområdet gått tett.

I (23) er det rapportert resultater fra kolonneforsøk med filtrering av ubehandlet sigevann. Sigevannet som ble benyttet hadde KOF-konsentrasjoner i området 3.300-7.390 mg/l, SS varierte i området 110-370 mg/l. Det ble registrert rask igjentetting av kolonnene. I løpet av en 20 ukers periode sank kolonnenes hydrauliske kapasitet fra $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ til $30\text{-}50 \text{ l}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. På grunnlag av jordanalyser var det ikke mulig å fastslå om jern eller organisk stoff var den primære igjentettingsårsaken. Erfaringene fra infiltrasjonsarealet på Dal-skog søppelfyllplass er i samsvar med erfaringene som ble gjort i disse laboratorieforsøkene (23).

Hvis konvensjonell infiltrasjon skal være noe alternativ ved filtrering av sigevann, er et stabilt og lavt forhold mellom BOF_7 og KOF en forutsetning. I (23) er det også rapportert pilotskala forsøk med

infiltrasjon av sigevann fra en eldre søppelfyllplass i kunstige sandfiltergrøfter. Sigevannet ble rensset i en luftet lagune. Utløpsvannet fra lagunen hadde et BOF_7/KOF forhold som varierte fra 0,18 til 0,01. KOF-konsentrasjonen i det biologisk rensede sigevannet varierte i området 170-470 mg/l. I løpet av en forsøksperiode på 9 måneder var det ikke tegn til permanent oppstuvning i en grøft som ble belastet med 60 m^3 sigevann/ m^2 filterflate·d.

Utløpsvannet fra en luftet lagune som mottar sigevann fra en ung søppelfyllplass kan ikke forutsettes å ha en kvalitet som til enhver tid er egnet for infiltrasjon. Hvis infiltrasjon skal benyttes bør det benyttes åpne infiltrasjonslaguner eller grøfter. På Dal-skog søppelfyllplass har man tatt i bruk en åpen infiltrasjonslagune. Driftserfaringer foreligger imidlertid ikke ennå. Infiltrasjon fra åpne grøfter er planlagt etablert på to svenske søppelfyllplasser (24). Heller ikke her foreligger driftserfaringer.

9. ØKONOMI

Kostnader for rensing av sigevannet kan deles i driftskostnader og kapitalkostnader. Driftskostnadene kan deles inn i følgende poster:

- lønn og sosiale utgifter
- energiutgifter
- kontrollprogram
- vedlikehold av maskiner og utstyr
- diverse.

Kapitalkostnadene består av avskrivninger på tekniske anlegg. Ut fra regnskapet fra Dal-skog søppelfyllplass er det vanskelig å trekke ut spesifiserte kostnader for rensing av sigevannet. I regnskapet blir driften av hele fyllplassen sett under ett. Det er derfor nødvendig å gjøre en del antakelser når de totale kostnader skal beregnes. Ved beregning av kapitalkostnader er byggekostnadene lagt til grunn. Det er gjort en fordeling slik at 25 % av byggekostnadene er for maskinelt utstyr, blåsemaskiner, rør etc., mens 75 % av kostnadene er for bygningsmessige anlegg, lagune, blåsemaskinhus og infiltrasjonsområde. Anlegget ble bygget i 1981. Totale anleggskostnader for anleggelse av fyllplassen var da kr 5.585 mill. kr. Av dette utgjorde sigevannsbehandlingsanlegget kr 560.000,- Prisstigningen frem til juli 1984 er satt til 25 %. I tabell 8 er det gjort en sammenstilling av årskostnader og driftskostnader.

Tabell 8. Årskostnader for rensing av sigevannet fra Dal-skog søppelfyllplass.

Post	Forutsetninger	Beløp
<u>Driftskostnader</u>		
Lønn og sosiale utg.	0,5 t/d å kr 80	10.000
Kontrollprogram	12 prøveserier å kr 1000	12.000
Vedlikehold av maskiner og utstyr	antatt	5.000
Energi	200.000 kWh/år å kr 0,25	50.000
Diverse	antatt	5.000
Driftskostnader totalt		kr <u>82.000</u>
<u>Kapitalkostnader</u>		
Bygg	7 % 25 år	45.000
Maskin	7 % 10 år	25.000
Kapitalkostnader totalt		kr <u>70.000</u>
<u>Årskostnader</u>		kr <u>152.000</u>

Av driftskostnadene er energikostnadene de mest betydelige. Som nevnt i pkt 7.5 er det av avgjørende betydning at oksygenkonsentrasjonen i lagunen ikke synker under 1-2 mg O₂/l. I perioden 1.1.83 og frem til 1.6.84 har O₂-konsentrasjonen i lagunen variert betydelig. I lange perioder har lufttilførselen vært betydelig høyere enn nødvendig. Årsaken til dette er at systemet med to like store blåsemaskiner er for lite fleksibelt. På et nytt laguneanlegg vil derfor energikostnadene kunne reduseres.

Bemanningskostnadene er lavere enn hva som kan forventes. Dette har sammenheng med at avskilling av suspendert stoff og slamhåndtering ikke er tilfredsstillende. I tillegg har en del av den løpende driftskontroll blitt utført gjennom oppfølgingsprosjektet. I tabell 9 er det beregnet enhetskostnader for en del sentrale størrelser.

Tabell 9. Enhetskostnader for rensing av sigevannet ved Dal-skog søppelfyllplass.

Enhet	Driftskostnad	Årskostnad
kr/m ³ sigevann	16	29
kr/tonn KOF fjernet	1652	3062
kr/tonn BOF ₇ fjernet	2390	4431
kr/m ³ lagunevolum	234	434
kr/tonn avfall	8,5	15,8

Vurdert ut fra sigevannsmengden kan enhetskostnadene virke svært høye. I (26) er kostnadene for rensing i luftet lagune ved tyske avfallsplasser angitt. Under forutsetning av en BOF₇ konsentrasjon lik 15.000 mg/l i sigevannet samt < 25 mg BOF₅ i utløpet fra lagunen, blir kostnadene anslått til 25-40 kr/m³. Rensingen inkluderer også full nitrifikasjon. De beregnede kostnadene for Dal-skog virker derfor fornuftige. Et mer normalt bilde fås ved å betrakte enhetskostnader som er beregnet på grunnlag av organisk stoff. Midlere renseeffekt i oppfølgingsperioden var henholdsvis 56 % for KOF og 57 % for BOF₇. Ved optimal drift kan man forvente en midlere renseeffekt over året lik ca. 90 %. Enhetskostnaden pr. tonn fjernet KOF og BOF₇ blir da redusert med ca. 35 %. Mengden organisk stoff som tilføres lagunen pr. år tilsvarer ca. 2700 pe (0,07 kg BOF₇/pe·d). I (21) er årskostnader og driftskostnader for ulike typer kommunale avløpsrenseanlegg beregnet. Et biologisk renseanlegg (aktivslam) for 2700 pe vil ha en årlig driftskostnad lik kr 280.000. Enhetskostnadene basert på driftskostnad pr. tonn fjernet BOF₇ blir da kr 4500. Det er forutsatt 90 % fjerning av organisk stoff. Årsakene til at rensing av sigevannet i luftet lagune kommer gunstig ut i forhold til biologisk rensing av kommunalt avløpsvann er at bemanningsbehovet er noe mindre. Lagunen er uten overbygg, også dette vil føre til reduserte driftskostnader. Kostnadene forbundet med rensing av sigevannet fra en søppelfyllplass kan derfor ikke ansees som spesielt høye sammenlignet med rensing av normalt kommunalt avløpsvann.

10. LITTERATUR

1. Thorsen, T.H.: "Avfallshåndtering i Norge status. Utviklingstendenser" Avfallshåndtering, Søppeldagene 1984, Tapir forlag 1984, (9-15).
2. "Kommunal avfallshåndtering idag og frem mot år 2000, Rapport T580, Miljøverndep., 1984.
3. Johansen, O.J.: "Treatment of Leachates from Sanitary Landfills". NIVA 0-26/74, PRA 2.8.75.
4. Damhaug, T.: "Rensing av sigevann fra søppelfyllplasser. VA-rapport 2/82. NIVA 1982.
5. Storhaug, R.: "Luftet lagune for rensing av sigevann, delrapport 1: Driftserfaringer, VA-rapport 21/84, NIVA 1984.
6. Wigdel, G.: "Vannforurensning fra avfallsfyllinger, en undersøkelse av de mekanismer som bestemmer utvaskingen". Institutt for vassbygging, seksjon for VAR-teknikk, Norges Tekniske Høyskole, 1982.
7. Klimadata fra meteorologisk institutt.
8. Chian, E.S.K., DeWalle, F.B.: "Sanitary Landfill Leachates and their Treatment". Journal of the Environmental Engineering Division vol. 102 (411-431), 1976.
9. "Lakvatten karakter - åtgårder - kontroll". Statens naturvårdsverk. 1982.
10. Robinson, H.D. et al.: "Generation and Treatment of Leachate from Domestic Wastes in Landfills". Water Pollution Control 1982, (465-478).
11. Johansen, O.J.: "Rensing av sigevann". PRA 16. Prosjektkomiteén for rensing av avløpsvann, 1976.

12. Nelson, P., Storhaug, R.: Treatment of leachate in aerated lagoons. Rapport under utarbeidelse.
13. Norwood Cook, E., Force, G.E.: "Aerobic biostabilization of sanitary landfill leachate". Journal of Water Pollution Control federation. Vol. 48, No. 2, February 1974 (380-392).
14. Anderson, K.K.: "Rensing av perkolat med lavt belastet aktivert slam-anlegg". Foredrag på Nordisk ministerrådskonferanse om rensing av sigevann, 10-11. oktober. Holte, Danmark.
15. Zapf-Gilje, R.: "Temperature Effects on Biostabilization of Leachate".
16. Uloth, V.C., Maniic, D.S.: "Aerobic Bio-Treatment of a High-Strength Leachate". Journal of the environmental engineering Division, Vol. 103, No. EE4, August 1977 (647-661).
17. Cossu, R.: "Biological Treatment of Leachate in a full scale plant". EAS - ISWA 81, München 1981 (605-621).
18. Kristensen, G.H.: "Full scale Treatment of Leachate by Biological Extended aeration". Foredrag på Nordisk ministerrådskonferanse om rensing av sigevann 10-11. oktober, Holte, Danmark.
19. Stegman, R.: "Reinigung und Verregnen von Müllsickerwasser unter Betriebsbedingungen - Dargestellt am Beispiel der Deponie Venneberg/Lingen". Technische Universität, Braunschweig, Heft 27, 1979.
20. Chian, E.S.K., DeWalle, F.B.: "Sequential substrate removal in activated sludge systems fed with naturally accruing wastewater". Progress in Water Technology, Vo..7, No.2, 1975 (235-241).
21. Johansen, O.J.: "Driftskostnader for kloakkrenseanlegg". NTNf's Utvalg for drift av renseanlegg, Prosjektrapport 35/82.

22. Metcalt and Eddy, Wastewater Engineering: Treatment-Disposal-Reuse, McGraw Hill Book Company, 1979.
23. "Rensing av sigevann fra søppelfyllplasser ved filtrering i jord", Styringsutvalget for jordforskning, 1981.
24. Nilson, Kaj.: "Kontrollerad lakvatten filtration - beskrivning av prosjektplan". Foredrag på Nordisk ministerråd's konferanse om rensing av sigevann 10-11. oktober, Holte, Danmark.
25. Andersen, K.K., Anderson L.G.: "Erfaringer med rensing af perkolat i kommunal reningsanlegg, statusrapport over 1 fase: Indsamling af eksisterende viden". Vandkvalitetsinstituttet, Danmark, 1984.
26. Maris, P.J., Harrington D.W, Chismon G.L.: "Leachate Treatment with Particular Reference to Aerated Lagoons". Water Pollution Control Vol. 83 No 4, 1984 (521-535).
27. Knoch, J.: "Reinigung von Müllsickerwasser mit belüfteten Teichen". Müll und Abfall, 4 (1972) (123-133).

BILAG 1

ANALYSERESULTATER

Tabell 1.1. Innløp og utløpskonsentrasjoner for organisk stoff.

Dato	Innløp		Utløp		Innløp		Utløp	
	KOFuf	KOFfi	KOFuf	KOFfi	B0F7uf	B0F7fi	B0F7uf	B0F7fi
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
830114.	14080.	*	10260.	*	*	*	*	*
830202.	15420.	*	11320.	*	10000.	*	9400.	*
830217.	16518.	*	12918.	*	13000.	*	9500.	*
830304.	17500.	*	13530.	*	12400.	*	10500.	*
830316.	18050.	*	7180.	*	13000.	*	7100.	*
830408.	15850.	*	11150.	*	3750.	*	3600.	*
830421.	15780.	15010.	7940.	7240.	14400.	2400.	4125.	750.
830504.	16780.	16515.	11950.	11350.	15000.	*	9600.	*
830601.	16570.	16175.	12410.	12070.	14750.	14500.	10000.	10400.
830617.	17635.	17345.	10817.	10472.	12250.	12250.	9400.	7600.
830706.	19200.	18600.	11100.	10700.	10000.	10000.	7600.	6300.
830714.	*	*	8730.	8050.	*	*	6700.	6100.
830721.	20060.	10280.	7890.	4100.	13200.	5400.	2300.	2100.
830816.	20260.	18600.	958.	949.	14800.	13200.	275.	125.
830831.	20360.	19420.	680.	570.	14500.	13500.	400.	325.
830914.	2690.	2525.	410.	360.	*	2170.	250.	50.
831006.	12880.	12590.	5440.	5230.	7800.	8500.	3450.	3550.
831025.	8700.	8400.	3500.	2910.	6200.	3600.	3100.	1600.
831123.	15350.	15000.	4960.	4900.	13400.	*	4500.	4400.
831216.	19880.	18590.	9705.	9305.	12000.	11800.	6600.	6000.
840109.	18970.	18770.	10660.	9160.	12400.	13600.	7400.	6900.
840120.	17660.	*	7290.	5930.	*	*	4500.	2900.
840202.	20170.	20120.	6137.	4287.	16400.	16400.	3700.	3000.
840215.	20000.	*	2600.	1900.	11800.	*	1100.	1000.
840312.	21570.	*	2410.	1890.	11800.	*	750.	650.
840326.	19590.	19390.	2320.	1816.	12000.	11400.	775.	750.
840425.	16720.	*	1730.	1480.	11250.	*	185.	60.
840516.	9500.	*	4770.	3900.	6000.	*	2200.	2400.
840601.	20900.	*	*	*	8600.	*	*	*

*: manglende verdi
uf: ufiltrert prøve
fi: filtrert prøve

Tabell 1.2. Innløps- og utløpskonsentrasjoner for nitrogen og fosfor.

Parameter	Orto-P		Tot-P		Tot-N		NH ₄	
	Enhet (mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)	
Prøvepkt	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut
Dato								
830114.	*	*	1.37	0.82	263.	182.	50.	103.
830202.	*	*	0.92	0.91	256.	210.	64.	153.
830217.	*	*	1.40	0.95	330.	330.	178.	185.
830304.	*	*	1.81	1.16	242.	208.	120.	185.
830315.	*	*	2.26	0.74	252.	117.	80.	79.
830408.	*	*	1.75	1.60	262.	151.	27.	104.
830421.	*	*	1.30	0.80	268.	155.	123.	82.
830504.	*	*	1.90	1.18	353.	265.	158.	152.
830601.	*	*	1.64	0.83	312.	230.	128.	202.
830617.	*	*	0.96	0.71	323.	231.	217.	163.
830706.	0.08	0.02	1.39	0.45	*	*	*	*
830714.	*	0.05	*	1.40	*	*	*	*
830721.	0.03	0.02	0.90	5.48	*	*	170.	110.
830816.	0.12	0.67	2.31	5.21	332.	104.	215.	51.
830831.	0.01	0.07	0.82	2.01	172.	18.	268.	46.
830914.	0.02	0.08	0.29	1.51	*	*	25.	11.
831006.	0.40	0.02	1.50	0.84	*	*	178.	95.
831025.	0.04	0.04	1.15	0.60	198.	139.	100.	59.
831123.	0.06	0.04	1.92	1.00	295.	120.	187.	87.
831215.	0.04	0.76	0.82	3.25	275.	190.	262.	178.
840109.	0.07	0.13	1.27	6.24	283.	217.	164.	138.
840120.	0.13	0.07	0.18	4.64	279.	183.	146.	84.
840202.	0.13	0.50	0.21	2.09	300.	158.	205.	104.
840215.	0.07	0.24	0.86	5.00	330.	150.	330.	100.
840312.	0.10	0.31	0.61	7.05	335.	160.	230.	87.
840326.	0.06	0.34	0.55	8.55	335.	141.	117.	60.
840425.	0.06	0.31	2.60	4.70	345.	198.	227.	71.
840516.	0.12	1.50	0.64	6.00	182.	220.	128.	103.
840601.	0.82	*	1.63	*	335.	*	165.	*

*: Manglende verdi

Tabell 1.3. pH og konduktivitet i innløp og utløp, innløps- og utløpskonsentrasjoner av jern og klorid.

Parameter	pH		Kond		Fe		Cl	
Enhet			(mS/m)		(mg/l)		(mg/l)	
Prøvepkt	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut	Inn	Ut
Dato								
830114.	5.85	7.03	898.	677.	372.	178.	1615.	1180.
830202.	6.01	7.01	990.	789.	484.	212.	1540.	1225.
830217.	5.99	6.98	995.	869.	533.	250.	2152.	1828.
830304.	5.87	6.79	1062.	888.	540.	230.	1685.	1425.
830316.	5.91	6.79	987.	539.	568.	110.	2170.	930.
830408.	5.92	6.77	1015.	770.	530.	245.	1675.	1160.
830421.	5.97	6.46	945.	567.	593.	145.	1830.	890.
830504.	6.06	6.69	1080.	810.	668.	483.	1960.	800.
830601.	5.92	6.76	1071.	819.	618.	120.	1240.	840.
830617.	5.93	7.06	1071.	819.	668.	69.	1765.	1120.
830706.	5.87	7.84	1153.	804.	760.	100.	2040.	1140.
830714.	*	*	*	*	*	*	*	*
830721.	5.98	7.76	1170.	590.	780.	93.	1630.	1860.
830816.	6.04	8.53	1160.	590.	680.	58.	2200.	1585.
830831.	6.00	8.65	1199.	605.	805.	46.	2925.	2080.
830914.	6.20	8.40	230.	510.	123.	8.	346.	1090.
831006.	6.13	6.43	848.	530.	513.	212.	1700.	1105.
831025.	6.13	7.97	605.	408.	425.	60.	1060.	875.
831123.	6.16	7.73	1021.	523.	830.	54.	1650.	740.
831216.	6.08	7.09	1100.	770.	800.	161.	2340.	1300.
840109.	6.08	7.28	1169.	857.	855.	310.	1940.	1660.
840120.	*	*	*	*	*	*	*	*
840202.	6.05	7.55	1224.	533.	742.	110.	2650.	1980.
840215.	*	*	*	*	*	*	*	*
840312.	*	*	*	*	*	*	*	*
840326.	6.04	7.95	1180.	530.	1060.	54.	2100.	1880.
840425.	6.04	7.80	1000.	482.	950.	36.	1100.	1290.
840516.	*	*	*	*	*	*	*	*
840601.	*	*	*	*	*	*	*	*

: Manglende verdi

Tabell 1.4. Oksygen, pH og temperaturmålinger.

Parameter	Oksygen-		pH		Temp.
	kons.				(c)
Enhet	(mgO ₂ /l)				
Prøvepkt.	L1	L2	L1	L2	L2
830503.	*	*	6.80	6.80	9.00
830606.	*	*	*	*	12.00
830624.	7.80	6.70	*	*	17.50
830627.	*	*	*	*	18.00
830630.	*	*	*	*	16.00
830706.	8.50	8.30	*	*	16.00
830708.	1.20	0.70	7.45	7.56	20.00
830711.	0.90	0.60	7.23	6.78	24.00
830714.	1.90	1.00	6.94	7.66	24.00
830718.	2.60	1.40	7.87	7.86	21.00
830721.	2.20	1.50	8.00	8.04	19.00
830726.	1.70	1.30	8.18	8.21	23.00
830729.	4.60	5.50	8.26	8.37	23.00
830809.	5.40	7.40	8.50	8.60	21.00
830816.	0.80	6.70	8.50	8.60	17.50
830828.	8.70	9.20	8.65	8.65	16.50
830914.	8.10	8.30	8.10	8.30	14.00
831006.	9.10	8.30	8.07	8.11	10.00
831025.	11.00	10.20	7.70	7.90	4.00
831208.	13.90	14.20	7.13	7.25	0.10
840108.	10.80	10.80	*	*	0.50
840120.	3.60	3.60	7.40	7.40	-0.50
840202.	*	*	7.70	7.70	1.50
840215.	6.80	*	7.90	7.90	0.00
840312.	4.50	*	*	*	2.00
840327.	8.20	*	8.30	8.20	3.00
840425.	0.50	*	*	*	15.00
840516.	0.60	*	*	*	16.00
840528.	0.40	0.80	8.10	8.20	20.60
840601.	0.50	*	7.70	*	18.00
840702.	1.50	*	*	*	18.00

*: manglende måling
L1: Lagunehalvdel 1
L2: Lagunehalvdel 2

BILAG 2

BEREGNING AV LUFTBEHOV

I det etterfølgende blir det gjennomført en overslagsmessig beregning av luftbehovet. Beregningene tar utgangspunkt i et spesifikt oksygenbehov lik $0,7 \text{ g O}_2/\text{g BOF}_7$ fjernet. I (27) ble det funnet at spesifikt oksygenforbruk ved rensing av sigevann i luftet lagune er $0,58-0,7 \text{ g O}_2/\text{g BOF}_5$ fjernet.

Totalt oksygenforbruk beregnes som følger:

$$OF = a \frac{S_o - S}{T} \quad (19)$$

OF = oksygenforbruk ($\text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ lagune} \cdot \text{d}$)
a = spesifikt oksygenforbruk ($\text{g O}_2/\text{g BOF}_7$ fjernet)
So = innløpskonsentrasjon ($\text{g BOF}_7/\text{m}^3$)
S = utløpskonsentrasjon ($\text{g BOF}_7/\text{m}^3$)
T = hydraulisk oppholdstid (d)

$$OT = OF \frac{C_s}{C_s - C_x}$$

OT = nødvendig oksygentilførsel ($\text{g O}_2/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)
Cs = metningskonsentrasjon ved temperatur t ($\text{g O}_2/\text{m}^3$)
Cx = faktisk oksygenoverskudd i lagunen ($\text{g O}_2/\text{m}^3$)

Oksygenoverføringskoeffisienten for grovflutere: $5 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \text{ luft} \cdot \text{m}_{\text{dyp}}$ (22).

Innblåsingsdyp = 2 meter

Tabell 2.1. Beregnet luftbehov.

Dato	SO	S	T	Cx	t	Cs	Luftbehov (m ³ luft/m ³ *h)			
							1	2	3	4
130504.	15000.	9600.	36.19	*	9.00	11.55	0.52	1.43	*	3
830601.	14750.	10000.	35.40	*	12.00	10.77	0.48	1.46	*	3
830617.	12250.	9400.	33.41	7.80	17.50	9.55	0.31	1.32	1.35	3
830706.	10000.	7600.	44.10	8.50	16.00	9.86	0.19	0.81	1.15	3
830714.	*	6700.	46.85	1.90	24.00	8.42			*	6
830721.	13200.	2300.	38.58	2.20	19.00	9.27	1.05	1.24	1.08	6
830816.	14800.	275.	46.51	0.80	17.50	9.65	1.14	1.14	0.99	6
830831.	14500.	400.	44.87	8.70	16.50	9.75	1.15	1.16	8.51	6
830914.	*	250.	7.93	8.10	14.00	10.29	*	*	*	6
831006.	7800.	3450.	14.41	9.10	10.00	11.28	1.06	1.87	4.55	6
831025.	6200.	3100.	13.57	11.00	4.00	13.11	0.78	1.54	4.13	6
831216.	12000.	6600.	33.30	13.90	0.10	14.59	0.54	1.19	10.00	6
840109.	12400.	7400.	42.78	10.80	0.50	14.43	0.39	0.96	1.35	3
840202.	16400.	3700.	44.78	*	1.50	14.03	0.96	1.22	*	3
840215.	11800.	1100.	52.79	6.80	0.00	14.63	0.68	0.74	1.10	3
840312.	11800.	750.	56.68	4.50	2.00	13.84	0.66	0.69	0.84	3
840326.	12000.	775.	54.94	8.20	3.00	13.46	0.69	0.73	1.52	3
840425.	11250.	185.	11.99	0.50	15.00	10.07	3.35	3.34	2.83	6
840516.	6000.	2200.	16.65	0.60	16.00	9.86	0.83	1.29	0.70	6

Kolonne 1: Nødvendig luftbehov for å opprettholdet oksygenoverskudd på 2 g O₂/m³ ved den faktiske fjerning av BOF₇.

Kolonne 2: Nødvendig luftbehov ved en fjerning lik 98 % og et oksygenoverskudd lik 2 g O₂/m³.

Kolonne 3: Nødvendig luftbehov ved den oppnådde fjerning av organisk stoff og det registrerte oksygenoverskudd.

Kolonne 4: Tilført luftmengde i henhold til maskinspesifikasjoner.

Den beregnede lufttilførselen er i alle tilfeller bortsett fra to lavere enn det som faktisk er tilført. Ved 98 % fjerning av organisk stoff (BOF_7) er luftbehovet $1,2 \text{ m}^3 \text{ luft/m}^3 \text{ lagune} \cdot \text{h}$, om vinteren er beregnet luftbehov ca. $0,8 \text{ m}^3 \text{ luft/m}^3 \text{ lagune} \cdot \text{h}$. Oksygenbehovet øker betydelig i snøsmeltingsperioden på grunn av den økte tilførselen av organisk stoff (jfr. figur 11). Beregningene viser betydningen av å kunne variere tilført luftmengde til lagunen.

RAS/LIS

7.2.85

DISK:RAS2

rapporter utgitt av NIVA

- 1/78 Tiltak i eksisterende avløpssystem. Delrapport 1.
C2-31 Kjell Øren. November 1978
- 1/79 Kjemisk felling med kalk og sjøvann. Del 2
C2-34 O-40/71 A Lasse Vråle. Juli 1979
- 2/79 Driftsresultater fra norske simultanfellingsanlegg.
C2-28 Lasse Vråle, Eilen A. Vik. Juli 1979
- 3/79 Slamavvanning med filterpresser. Del 1
O-78102 Bjørn-Erik Haugan. November 1979
- 4/79 Slamavvanning med filterpresser. Del 2
O-78102 Bjørn-Erik Haugan. September 1979
- 5/79 Sigevann fra søppelfyllplass.
C2-26 Torbjørn Damhaug, Arild Eikum,
Ole Jakob Johansen. August 1979
- 6/79 Vannforurensning fra veg.
O-79024 Eivind Lygren, Egil Gjessing,
John Ferguson. Desember 1979
- 9/79 Primærfelling med ulike fellingskjemikalier
ved Sandvika renseanlegg.
O-79001 Lasse Vråle. Desember 1979
- 1/80 Bakteriologiske forhold i norske og utenlandske
råvannskilder
O-78029 Jens J. Nygård. Februar 1981
- 2/80 Treatment of Septic Tank Sludge
Research Proposal
F-80413 Arild Eikum. Januar 1980
- 3/80 Industriefyllplass i Arendal-Grimstadregionen
Vurdering av vannforurensning og rensetekniske
tiltak for alternativene Gloseheia og Lundeheia
O-80016 Torbjørn Damhaug, Hans Holtan. Mars 1980
- 4/80 Utprøving av analysemetoder for PAH og kartlegging
av PAH-tilførsler til norske vannforekomster
A3-25 Lasse Berglind. Mars 1980
- 5/80 Mobil avvanning av septikslam
Utprøving av septikbil »HAMSTERN»
O-80019 Bjørn-Erik Haugan. November 1980
- 6/80 Tilføringsgrad
Kontroll og kalibrering av vannmålestasjon
ved Monserud kloakkrenseanlegg. Del 1
O-78107 Lasse Vråle. Oktober 1980
- 7/80 Tilføringsgrad
Forurensningstilførsler og beregning av
tilføringsgrad for Monserud renseanlegg i 1979. Del 2
O-78107 Lasse Vråle. Oktober 1980
- 8/80 Overløp i avløpsnett
Tilstand i dag og mulige tiltak
C2-32 Eivind Lygren. September 1980
- 9/80 Sikring av vannforsyning i Oslo mot
forurensninger ved uhell eller sabotasje
Vurdering av faremomenter. (Sperrert)
O-79084 Egil Gjessing, Jens J. Nygård. September 1980
- 10/80 Important aspects of water treatment in USA
XT-25 Eilen Arctander Vik. Juli 1980
- 11/80 Myrgrøfting, effekt på vannkvalitet
Noen observasjoner fra grøftet myrområde
i Røyken 1971-79
XK-05 Egil Gjessing. September 1980
- 12/80 Driftsundersøkelse av vannbehandlingsanlegg
F-80417 Torbjørn Damhaug. November 1980
- 13/80 Hvirveloverløp
Avskilling av sedimenterbart materiale og
flytestoffer i overløpsvann
O-79090 Eivind Lygren. Desember 1980
- 14/80 Use of UV and H₂O₂ in water and
wastewater treatment
Research Proposal
F-80415 Arild Schanke Eikum. Desember 1980
- 1/81 Treatment of potable water containing humus by
electrolytic addition of aluminium followed by
direct filtration
Research Proposal
F-80415 Eilen Arctander Vik. Januar 1981
- 2/81 Water research in developing countries
A desk survey about planning and ongoing
research projects
O-80028 Svein Stene Johansen. Januar 1981
- 3/81 VA-teknisk forsøksall Sentralrenseanlegg Vest SRV
Notat
Arild Schanke Eikum, Arne Lundar. Februar 1981
- 4/81 Alkalization/hardening of drinking water
Research proposal
G-314 Egil Gjessing. Februar 1981
- 5/81 Tiltak mot forurensning fra fiskeoppdrett
Behandling av vann i resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrett
Forskningsprogram 1981-1984
FP-80802 Arild Schanke Eikum, Eivind Lygren. Mai 1981
- 6/81 Tiltak i eksisterende avløpssystem. Delrapport 2
O-80018 Svein Stene Johansen. Mai 1981
- 7/81 Kalking av tilløp til lille Asketjern for fjerning av humus
Innledende forsøk. O-81065 Eilen Arctander Vik. August 1981
- 8/81 Tilføringsgrad for oppsamlingsnett
Status for eksisterende målinger
O-80055 Lasse Vråle. August 1981
- 9/81 A Water Pricing Study for Western Province,
Zambia. Draft !
O-81022 Svein Stene Johansen. September 1981
- 10/81 Fjerning av humus ved H₂O₂ tilsetning
og UV - bestråling
F-80415 Lasse Berglind. Oktober 1981
- 11/81 Treatment of Septic Sludge
European practice
O-80040 Arild Schanke Eikum. November 1981

- 12/81 **Silgrainsyre som fellingsmiddel for avløpsvann**
Buhrestua renseanlegg. Nesodden
O-80093 Lasse Vråle. Desember 1981
- 13/81 **Analyse av vannbehov i husholdninger, næringsvirksomhet
institusjoner og til kommunaltekniske formål**
O-78028-01 Svein Stene Johansen, Kim Wedum. Desember 1981
- 1/82 **Fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann
ved ammoniakkavdrivning**
F-81427 Torbjørn Damhaug. Mars 1982
- 2/82 **Rensing av sivevann fra søppelfyllplasser**
OF-80606 Torbjørn Damhaug. Juni 1982
- 3/82 **Hvirvelkammer og hvirveloverløp**
Regulering av vannføring og rensing av overløpsvann
O-79090 Eivind Lygren, Kim Wedum. Mai 1982
- 4/82 **Avvanning av septikslam i container**
O-81104 Bjarne Paulsrud. August 1982
- 5/82 **Kalibrering og justering av vannføringsmålere**
O-82011 Kim Wedum. Mai 1982
- 6/82 **Vurdering av driftsinstruksur og driftsforhold
ved renseanlegg rundt Indre Oslofjord**
O-82004 Arne Lundar, Bjarne Paulsrud. August 1982
- 7/82 **Styring av kjemikaliedosering ved kjemiske renseanlegg**
Erfaringer med bruk av ledningsevne som styringsparameter
O-82025 Torbjørn Damhaug, Bjarne Paulsrud. August 1982
- 8/82 **Strålingskjemisk oksydasjon av organisk stoff i vann**
Programforslag. (Sperrret)
F-80415 Kim Wedum. September 1982
- 9/82 **Slamstabilisering under høy temperatur ved bruk av rent oksygen**
F-81430 Bjørn-Erik Haugan. Oktober 1982
- 10/82 **Tørrværsavsetninger i fellessystemrør**
O-82022 Oddvar Lindholm. November 1982
- 11/82 **Treatment of septage**
European practice
O-80040 Arild Schanke Eikum. Februar 1983
- 1/83 **Alkalisering av drikkevann**
Delrapport 1 NIVA/SIFF
F-82441 Eilen A. Vik. Mars 1983
- 2/83 **Industriavløp på kommunale renseanlegg**
Forbehandling av meieriavløp i luftede utjevningsbasseng
Delrapport 1
O-82017 Torbjørn Damhaug. Februar 1983
- 3/83 **Samlet optimalisering av avløpsrenseanlegg
og avløpsledningsnett**
O-82124 Oddvar Lindholm. Februar 1983
- 4/83 **Driftskontrollprogram for galvanoindustriens renseanlegg**
O-79049 Eigil Iversen. Mars 1983
- 6/83 **Optimalisering av galvanotekniske industrirensanlegg**
O-82119 Eigil Iversen. Mai 1983
- 7/83 **Utslipp av syre, løst organisk materiale og suspendert
stoff fra Hunsfos Fabrikker og Norsk Wallboard
juli-oktober 1982**
O-82067 Øivind Tryland. Mars 1983
- 8/83 **Analyseresultater for avløpsvann fra
Mosjøen Aluminiumverk april-oktober 1982**
O-82027 Øivind Tryland. Mars 1983
- 9/83 **Vannforurensning ved bruk av kalksalpeter som
støvdempingsmiddel på grusveger**
O-81050 Eivind Lygren, Reidun Schei. Juni 1983 (Sperrret)
- 10/83 **Funksjonsprøving nr 2 av membran
kammerfilterpresser VEAS Mars 1983**
O-82130 Lasse Vråle. Mars 1983
- 11/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 1
Forurensningsproduksjon fra boligfelt med tett
opsamlingsnett i Sydsbogen, Røyken kommune
O-81041 Lasse Vråle. April 1983
- 12/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 2
Automatisk overvåking av vannforbruk og lekkasje som
alternativ metode for beregning av tilføringsgrad.
Resultater fra undersøkelser ved Sydsbogen,
Buhrestua og Siggerud.
O-81041 Lasse Vråle. Desember 1984
- 13/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 3
Spillvannstapets resipient påvirkning i Siggerudgryta,
Ski kommune
O-81041 Lasse Vråle. August 1983
- 14/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 4
Spillvannstapets innvirkning på grunnvannskvalitet.
Buhrestua rensedistrikt, Nesodden kommune.
O-81041 Lasse Vråle. Oktober 1984
- 15/83 **A feasibility study of fishfarming in Jordan**
O-83026 Eivind Lygren, Torbjørn Damhaug. Juni 1983 (Sperrret)
- 16/83 **Driftsanalyse av Bekkelaget renseanlegg**
O-82005 Bjarne Paulsrud, Kim Wedum. Juni 1983 (Sperrret)
- 17/83 **Water Research in Zambia**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen. September 1983
- 18/83 **Water Research in Kenya**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen. September 1983
- 19/83 **Water research in Tanzania**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen, Torbjørn Damhaug. May 1984
- 20/83 **Mikrobiologisk angrep på gummipakninger til vann- og avløpsrør**
Programforslag
O-83033 Kim Wedum. Juni 1983 (Sperrret)

VA rapporter utgitt av NIVA

- 21/83 **Slamdeponering ved norske mangansmelteverk**
Fysisk-kjemisk karakterisering av drensvann og virkninger av drensvann på biologiske forhold i resipienten
O-80058 Øivind Tryland, Harry Efraimssen. April 1983
- 22/83 **Sandstangen vannverk**
O-83079 Eilen A. Vik. Juni 1983 (Sperrert)
- 23/83 **Erfaringer med mottak av septikslam på kommunale renseanlegg**
O-82037 Bjarne Paulsrud. Juli 1983
- 24/83 **Miljøgifter i overvann**
O-83063 Oddvar Lindholm. August 1983
- 25/83 **Arealfordeling av korttidsnedbør**
O-83005, F-83450 Oddvar Lindholm. Oktober 1983
- 26/83 **Urbanhydrologi i Sverige**
En litteraturstudie
O-83092 Oddvar Lindholm. November 1983
- 27/83 **Tørrværsavsetninger i fellessystemrør**
Fase II
O-82111 Oddvar Lindholm, November 1983
- 28/83 **Bruk av rent oksygen for luktreduksjon ved renseanlegg R-2, Lillehammer**
O-82083 Bjarne Paulsrud, Bjørn-Erik Haugan. November 1983
- 29/83 **Avsluttende funksjonsprøve for membran-filterpresser ved VEAS, oktober-november 1983**
O-83098 Lasse Vråle, Bjarne Paulsrud. November 1983 (Sperrert)
- 30/83 **Emerging European Wastewater Treatment Technology Preliminary Description**
O-83150 Arild Schanke Eikum. Desember 1983 (Sperrert)
- 31/83 **Treforedlingsindustriens avløpsvann**
Mikrobiell nedbrytning av klorert organisk materiale i blekeriavløpsvann
F-81434 Øivind Tryland, Harry Efraimssen. Desember 1983
- 32/83 **Suspensjoners synkehastighet**
Metode for analyse av finfordelte partiklers synkehastighet i vann
F-81434 Øivind Tryland. Desember 1983
- 33/83 **Silgrainsyre som fellingsmiddel ved SRV, VEAS Slemmestad**
O-82102 Lasse Vråle, P. Sagberg. Desember 1983. (Sperrert)
- 1/84 **Industriavløp på kommunale renseanlegg**
O-82017 Torbjørn Damhaug. Januar 1984
- 2/84 **Luftet lagene for rensing av sigevann**
Delrapport 1. Driftserfaringer
O-83027 Ragnar Storhaug. Februar 1984
- 3/84 **Highway pollution in a Nordic Climate**
O-79024 Eivind Lygren. Mars 1984
- 4/84 **An evaluation of large-scale algal cultivation systems for fish feed production**
O-84002 Torbjørn Damhaug et al. Februar 1984 (Sperrert)
- 5/84 **Matematisk modell av avløpsrenseanlegg**
O-82124/F-83448 Oddvar Lindholm. Februar 1984
- 6/84 **Adsorption in Water Treatment**
Fluoride Removal
FP-83828 Eilen A. Vik. Februar 1984
- 7/84 **Analyse av vannføringsdata**
O-81113 Kim Wedum. Januar 1984
- 8/84 **Renseeffekt i Heistad renseanlegg med og uten tilkøpling av industrielt avløpsvann**
O-83093 Øivind Tryland. April 1984
- 9/84 **Hygienisering av slam ved bruk av rent oksygen**
F-81430 Bjarne Paulsrud, Bjørn-Erik Haugan, Gunnar Langeland. Juli 1984
- 10/84 **Slamavvanning med filterpresser ved SRV**
Økonomisk sammenligning av Lasta membran-filterpresser og Rittershaus & Blecher kammerfilterpresser
O-83098 Lasse Vråle, Bjarne Paulsrud. Mai 1984 (Sperrert)
- 11/84 **Separat behandling av slamvann fra avvanning av septikslam**
Biologisk rensing ved bruk av aktivslam
O-83021 Ragnar Storhaug. Juni 1984
- 12/84 **Industriutslipp til vassdrag**
Avveininger for å beskytte resipienten, eksempel fra en tekstilbedrift
OF-81618 Bjørn-Erik Haugan, Kim Wedum. April 1984 (Sperrert)
- 13/84 **Treforedlingsindustriens avløpsvann**
Virkning av peroksyd og UV-bestråling på klororganisk materiale og farge i celluloseblekeriers avløpsvann
F-81434 Øivind Tryland. Mai 1984
- 14/84 **Driftsassistanse**
Vannrenseanlegg, ÅSV A/S Fundo Aluminium
O-83141 Egil Iversen, Torbjørn Damhaug. Juni 1984
- 15/84 **Ammonium som forureningsparameter**
O-83035 Kim Wedum. August 1984
- 16/84 **Driftsoppfølging av Biovac renseanlegg for helårsbolig**
O-82101 Bjarne Paulsrud. September 1984
- 17/84 **Kalkfelling på små renseanlegg**
O-83067 Ragnar Storhaug. Oktober 1984
- 18/84 **Hygienisering av slam ved lufttilførsel (Janca-prosessen)**
O-84050 Bjarne Paulsrud, Gunnar Langeland. September 1984
- 19/84 **Utvikling av lukket mærkonstruksjon.**
Prosessløsning og optimalisering
O-84091 Kjell Maroni, Eivind Lygren, Bjørn Braaten. Oktober 1984. (Sperrert)
- 20/84 **Forureningsproduksjon fra husholdning**
Halvårlig sommerundersøkelse fra Sysdskogen i 1983, Røyken kommune.
F-83451 Lasse Vråle. Oktober 1984
- 22/84 **Avløpsvannmengder tilført påslippene ved SRV i 1983 og 1984**
O-83090 Lasse Vråle. April 1985

ISBN 82-577-0899-2