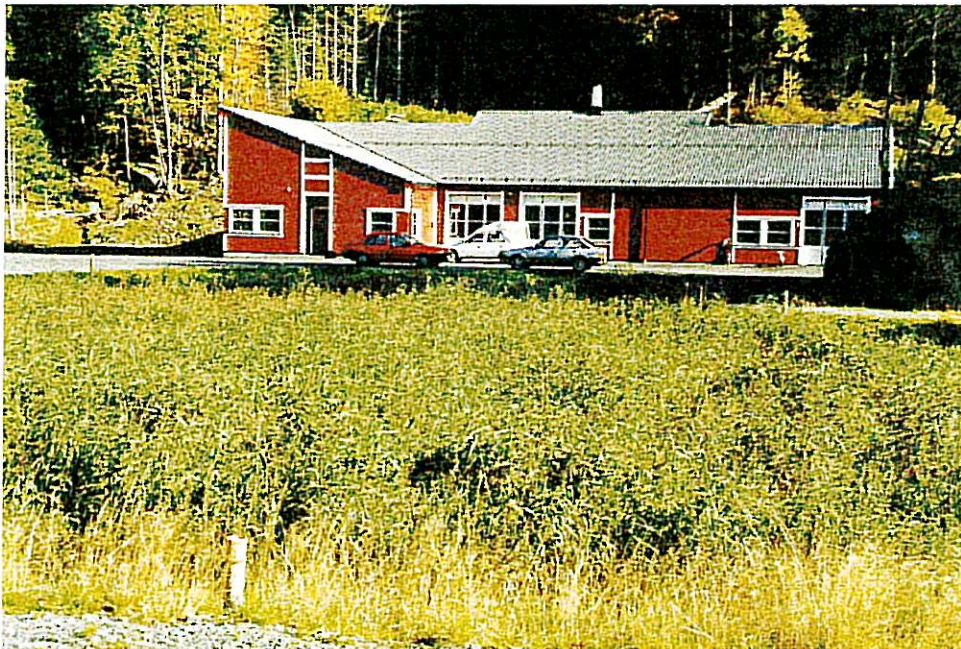


NIVA



RAPPORT LNR 4047-99

**Driftsovervåking av jord-  
og plantebasert  
slamavvanningsanlegg i  
Tvedestrand**



## Norsk institutt for vannforskning

## RAPPORT

## Hovedkontor

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

## Sørlandsavdelingen

Televeien 1  
4890 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

## Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

## Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

## Akvaplan-NIVA A/S

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

Tittel Driftsovervåking av jord- og plantebasert slamavvanningsanlegg i Tvedestrand.  Evaluation of the performance of a soil/plant filter system for dewatering of sludge from a wastewater treatment plant	Løpenr. (for bestilling) 4047-99	Dato 26.03.99	
	Prosjektnr. Undernr. O 98188	Sider 45	Pris -
Forfatter(e) Norgaard, Erik Liltved, Helge	Fagområde Avløpsteknologi	Distribusjon	
	Geografisk område Agder	Trykket NIVA	

Oppdragsgiver(e) Tvedestrand kommune	Oppdragsreferanse Per C. Andersen
---	--------------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>For behandling av slam fra Tvedestrand renseanlegg (4500 p.e.) er det etablert plantebasert slamavvanning. Slam tilføres fra det satsvise biologiske renseanlegget (SBR) til i alt 6 separate takrørsbeplantede basseng.</p> <p>For vurdering av bassengenes hydrauliske egenskaper og evne til å holde tilbake organisk stoff og næringssalter i slammet, ble det gjennomført et overvåkingsprogram i perioden fra oktober 1998 til 7. januar 1999.</p> <p>Det ble konkludert med at slamavvanningsanlegget fungerer meget godt hydraulisk. 80 - 90% av slamvannet dreneres i løpet av de første 20 timene etter slamtilførsel. Når det gjelder evne til tilbakeholdelse av organisk stoff (målt som KOF og BOF<sub>7</sub>), totalt nitrogen (målt som Tot-N) og fosfor (målt som Tot-P og Orto-P), ble denne vurdert som effektiv. Gjennomsnittskonsentrasjonen av suspendert stoff i rejektivannet ble målt til 7,4 mg /l. Forhøyede NO<sub>3</sub>-verdier i rejektivannet viser at det ble etablert nitrifikasjon, noe som betyr at det tilføres molekylær oksygen i deler av filtermassen.</p> <p>Det forekom ikke luktspredning fra anlegget i driftsperioden, verken under slamtilførsel eller i dreneringsperiodene.</p>
---

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Naturbasert avløpsbehandling</li> <li>2. Slamavvanning</li> <li>3. Mineralisering</li> <li>4. Filtrering</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Constructed wetland</li> <li>2. Sludge dewatering</li> <li>3. Mineralisation</li> <li>4. Filtration</li> </ol>
--	---

  
Norgaard, Erik  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3650-3

  
Wathne, Bente  
Forskningsjef

## **Driftsovervåkning av jord- og plantebasert slamavvanningsanlegg i Tvedestrand**

## FORORD

Tvedestrand kommune har etablert nytt hovedrenseanlegg for avløpsvann. Anlegget er et Satsvis Biologisk Renseanlegg (SBR) levert av Goodtech Biovac AS.

Som Norges aller første kommune avvanner Tvedestrand overskuddslammet fra renseanlegget i et åpent plantebasert avvanningsanlegg. Anlegget er prosjektert av Asplan Viak (J. Jacobsen og P. H. Tomren). Stiftelsen JORDFORSK (A.-G. Buseth Blankenborg) har gitt innspill til oppbygging av filtermasse og vekstlag.

Renseanlegget ble formelt åpnet i mars 1998, og slamavvanningsanlegget har vært i drift fra 19. mai samme år.

Siden slamavvanningsanlegget er Norges første i sitt slag og følgelig har fått betegnelsen demonstrasjonsanlegg, har Tvedestrand kommune fått tilskudd fra SFT som bl.a. skal brukes for å gjennomføre en grundigere dokumentasjon fra en lengre sammenhengende driftsperiode. Driftsdokumentasjonen har også mottatt støtte fra Arendal næringsfond med den begrunnelse at anlegget gir nyttig erfaring til lokale leverandører av såvel know-how som av tekniske innstallasjoner og biologiske løsninger.

Driftsdokumentasjonen er gjennomført av NIVA, med Erik Norgaard som prosjektleder, i et nært og godt samarbeide med Tvedestrand kommune. Kommunens kontaktperson har vært Geir Mosebekk som takkes for oppofrende arbeid gjennom hele perioden. En stor takk skal driftsoperatørene Åge Rønningen og Leif Olsen ha.

Fra NIVA's side har Helge Liltved deltatt i prosjektgruppen.

Grimstad, 6. april 1998

*Norgaard, Erik*



# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1 INNLEDNING</b>	<b>7</b>
1.1 Vegetasjonens rolle ved plantebasert slamavvanning	7
1.2 Erfaringer med plantebasert slamavvanning	7
<b>2 Beskrivelse av slamavvanningsanlegget i Tvedestrand</b>	<b>7</b>
2.1 Dimensjonerende grunnlag	7
2.2 Oppbygging av slamavvanningsanlegget	8
2.3 Planteetablering - erfaringer med oppstarten	10
<b>3 METODER</b>	<b>11</b>
3.1 Driftsrutiner	11
3.2 Driftsoppfølging av slamavvanningsanlegget	12
3.3 Kvalitet på tilført slam	12
3.3.1 Slamvolum	12
3.3.2 Totalt Suspendert Stoff (TSS) / Totalt Tørr Stoff (TTS)	12
3.3.3 Innhold av patogene bakterier	12
3.3.4 $KOF_{total}$	12
3.3.5 Tot-N, $NH_4-N$ og $NO_3-N$	13
3.3.6 Tot-P	13
3.4 Hydraulisk belastning	13
3.5 Stoffbelastning	13
3.6 Rejektvannets kvalitet	13
<b>4 RESULTATER</b>	<b>14</b>
4.1 Meteorologiske forhold under overvåkningsperioden	14
4.1.1 Temperaturforhold	14
4.1.2 Nedbør	15
4.2 Stoffmessige og hydrauliske belastninger av takrørsbassengene	16
4.3 Hydrauliske driftsforhold	17
4.3.1 Basseng 1	18
4.3.2 Basseng 2	21
4.3.3 Basseng 3	24
4.3.4 Basseng 4	27
4.3.5 Basseng 5	30
4.3.6 Basseng 6	33
4.4 Rejektvannskvalitet	36
4.4.1 Basseng 1	38
4.4.2 Basseng 2	39
4.4.3 Basseng 3	40
4.4.4 Basseng 4	41
4.4.5 Basseng 5	42
4.4.6 Basseng 6	43

## Sammendrag

Tvedestrand kommune har som den første i Norge etablert plantebasert slamavvanning. Slamavvanningsanlegget tilføres slam fra et satsvis biologisk renseanlegg (SBR) som er dimensjonert for å behandle avløpet fra 4500 p.e. Slamavvanningsanlegget består av i alt 6 separate takrørsbeplantede basseng hvorav 3 har vært i drift fra 19. mai 1998, mens de gjenværende 3 ble satt i drift i august 1998.

I overvåkingsperioden som varte fra begynnelsen av oktober 1998 til 7. januar 1999 er det gjennomført en grundig undersøkelse med hensyn til bassengenes hydrauliske egenskaper og evne til å holde tilbake organisk stoff og næringssalter i slammet. Bassengene ble i hele perioden drevet satsvis, det vil si at hvert basseng ble belastet i en uke av gangen med 5 ukers pause etter hver driftsuke. Av renseanleggets 3 SBR-reaktorer, var 2 i drift i undersøkelsesperioden. Normalt ble det pumpet  $60 \text{ m}^3$  slam fra hver reaktor annenhver dag, noe som tilsvarte en totalmengde på ca.  $360 \text{ m}^3$  slam i uka til bassenget som ble belastet. Denne driftsformen ga en slamalder på 20 døgn.

Erfaringer og analyseresultater fra driftsoppfølgingen gir grunnlag for følgende oppsummering:

- Anlegget fungerer meget godt hydraulisk. 80 - 90% av slamvannet dreneres i løpet av de første 20 timene etter tildeling.
- Når det gjelder evne til å drenere slamvann, synes det å være minimale forskjeller mellom de 6 bassengene, noe som antyder at denne evnen ikke forverres i særlig grad som følge av slamakkumulering på filteroverflaten.
- Det ble registrert en betydelig mengde "fremmedvann" i perioder med mye nedbør (opp til dobling av slamvannsmengden).
- De registrerte vannmengdene tilsier at hoveddelen av "fremmedvannet" tilføres via andre veier enn som direkte nedbør i nedbørsfeltet.
- Kvaliteten på rejektivannet er meget god sammenliknet med tilsvarende fra mekaniske avvanningsanlegg.
- Det skjer en meget effektiv tilbakeholdelse av partikulært materiale i filtermassen. Gjennomsnittskonsentrasjonen av suspendert stoff i rejektivannet gjennom driftsperioden ble målt til  $7,4 \text{ mg/l}$ .
- Tilbakeholdelse av organisk stoff (målt som KOF og  $\text{BOF}_7$ ), totalt nitrogen (målt som Tot-N) og fosfor (målt som Tot-P og Orto-P) er også meget effektiv. Tallkolonnen under viser gjennomsnittstall for samtlige bassenger i løpet av overvåkingsperioden. I tillegg er

det gitt renseseffekter hvor effekten av høyeste fortynning (1 del salmvann og 1 del "fremmedvann") er tatt med i beregningene.

Parameter	Renseeffekt	Renseeffekt innberegnet fortynning
KOF <sub>total</sub>	99,0	97,9
KOF <sub>filtrert</sub>	89,7	79,6
BOF <sub>7</sub>	98,1	96,2
Tot-N	96,4	92,7
Tot-P	99,9	99,8

- Det ble ikke registrert stabil nitrifikasjon i noen av reaktorene i rensenanlegget i løpet av overvåkingsperioden.
- Forhøyede NO<sub>3</sub> - verdier i rejektivannet viser at det er etablert nitrifikasjon i slamavvanningsanlegget, noe som betyr at det tilføres molekylær oksygen i deler av filtermassen.
- Det forekom ikke luktspredning fra anlegget i driftsperioden, verken under slamtilførsel eller i dreneringsperioder.

# 1 INNLEDNING

## 1.1 Vegetasjonens rolle ved plantebasert slamavvanning

Vegetasjonen spiller en viktig rolle i avvanningsprosessen. Rotsystemet absorberer vann (suger) som siden tapes til atmosfæren gjennom såkalt evapotranspirasjon (aktiv fordampning).

Enda viktigere for en effektiv avvanningen er at plantestammen (ved gjennom boring av selve slamoverflaten) sammen med planterøttene er med å opprettholde permanente veier for en kontinuerlig drenering av vann fra slamlaget.

Takrørene har også kapasitet til å transportere  $O_2$  fra bladene til rotsonen og på den måten etablere aerobe soner i slammiljøer som ellers ville vært "svarte" d.v.s. anaerobiske (uten tilstedeværelse av luftas  $O_2$ ). På denne måten oppnås stabilisering av slammet. Her skal imidlertid legges til at dreneringsrørene og beluftningsrørene gir et vel så viktig bidrag til slamluftingen (skorsteinseffekt).

## 1.2 Erfaringer med plantebasert slamavvanning

Det er enda ikke gjort erfaringer med denne type slamavvanningsmetode i Norge. Danske erfaringer som strekker seg over mer enn 10 år viser at anleggene har stor driftssikkerhet og lave driftskostnader. Anleggene er imidlertid arealkrevende, noe som trekkes frem som et ankepunkt ved sammenlikning med konvensjonelle avvanningsmetoder.

Erfaringene fra Danmark viser at sluttproduktet som tas ut etter 8-10 år er godt mineralisert (beregnet til ca. 25% vektreduksjon) og har et tørrstoffinnhold som varierer fra 35 - 50 %.

# 2 Beskrivelse av slamavvanningsanlegget i Tvedestrand

## 2.1 Dimensjonerende grunnlag

Som Norges aller første kommune avvanner Tvedestrand overskuddslammet fra renseanlegget ved hjelp av plantebasert filtrering.

I tabell 1 fremgår grunnlagsdata som er benyttet for dimensjoneringen av slamavvanningsanlegget.

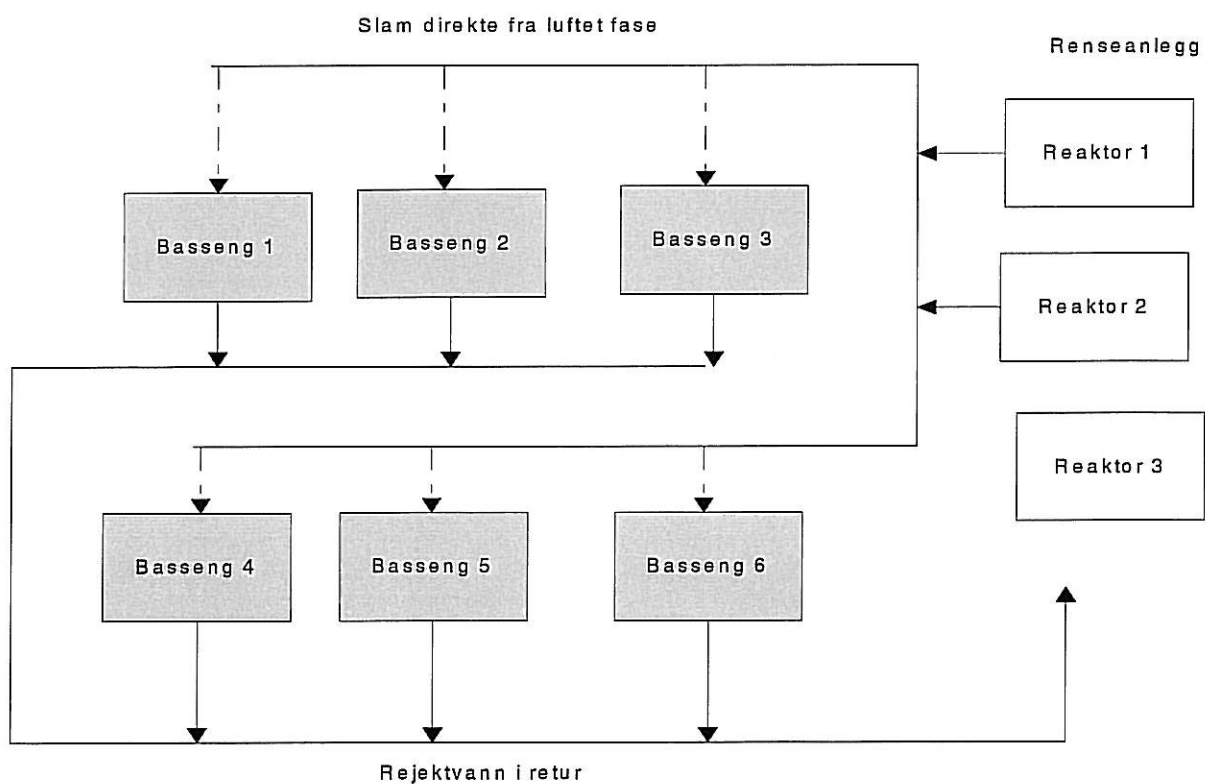


**Tabell 1.** Grunnlagsdata for dimensjonering av slamavvanningsanlegg i Tvedestrand kommune.

Avløpsvann	Personer	Spesifikk belastning	Stoffmengde i slam	Stoffbelastning	Hydraulisk belastning
	p.e.	g TS/pe*år	% TS	tonn TS/år	m <sup>3</sup> /år
Tvedestrand rensesanlegg	4 500	60	1	98.55	9 855
Fiane rensesanlegg	800	90	3	26.28	876
<b>SUM</b>	<b>5 300</b>		<b>1.16</b>	<b>124.83</b>	<b>10731</b>

## 2.2 Oppbygging av slamavvanningsanlegget

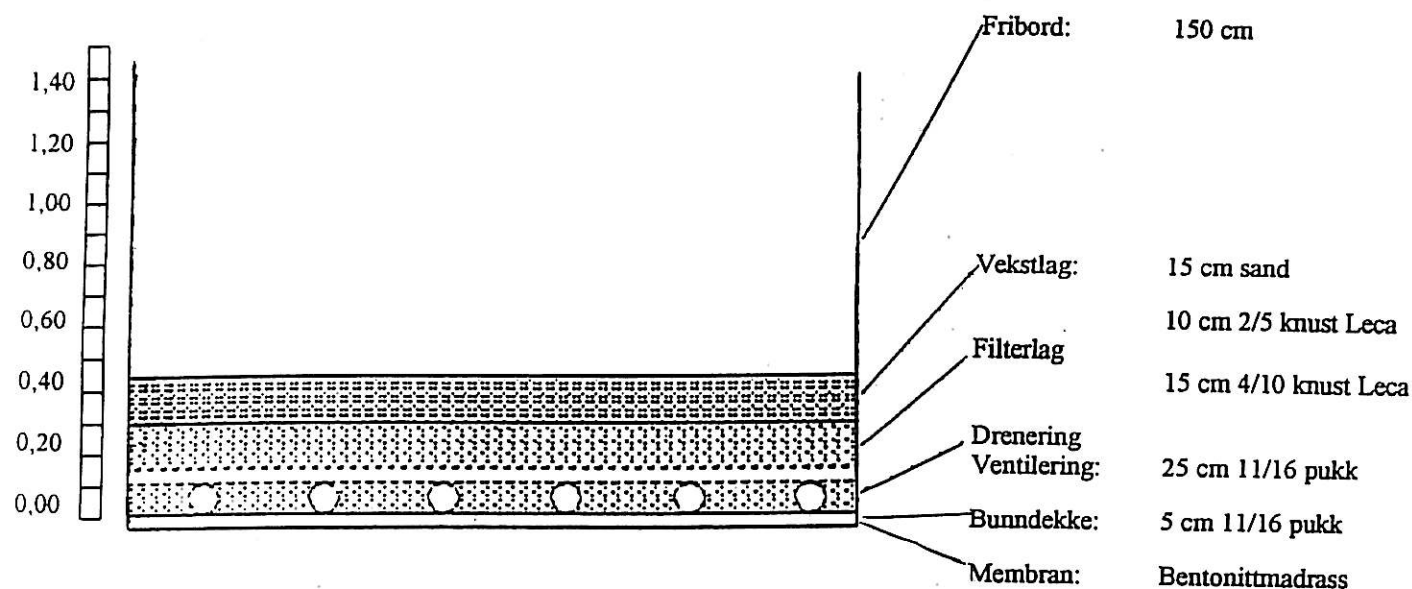
Skissen i figur 1 viser den skjematiske oppbyggingen av slamavvanningsanlegget slik det er etablert i Tvedestrand.



**Figur 1.** Slamavvanningsanlegget i Tvedestrand kommune - flytskjema

I bunnen av bassengvolumet er det lagt en membran basert på leire (bentonitt). Videre er det lagt 25 cm vasket pukkk over dreneringsrørene som skal lede rejektivannet ut av bassengene. I tillegg til dreneringsrørene er det lagt ned horisontale perforerte rør gjennom filtermassene som skal sikre tilstrekkelig med lufting av slamlaget etter hvert som dette stiger i bassengene. Lufterørene er koplet til vertikale stigerør som stikker opp over takrørsbeplantningen i kant av bassengene.

Over dreneringslaget ligger filtermassen som består av 2 fraksjoner, en grov fraksjon og en noe mindre grov. I bassengene 1-3 er det benyttet kuler av ekspandert leire levert av a.s. Norsk Leca. Bassengene 4-6 er bygget opp som konvensjonelle tørkesenger med sand-/grusmasse i stedet for "leca-kuler". Over filterlaget ligger et 10 - 15 cm's vekstlag av fingradert kvartssand. Filteroppbyggingen er presentert skjematisk i figur 2.



Figur 2. Snitt som viser lagdelingen gjennom slamavvanningsanlegget i Tvedestrand

### 2.3 Planteetablering – erfaringer med oppstarten

Tre (3) av i alt 6 basseng (adskilte filtreringsenheter) i det plantebaserte slamavvanningsanlegget i Tvedestrand har vært i drift siden 19. mai 1998. Disse 3 bassengene er bygget opp i henhold til spesifikasjoner utarbeidet ved JORDFORSK (Buseth Blankenberg, 1998).

Bassengene ble beplantet med takrør (*Phragmites australis*) medio juni 1997. Plantene ble dyrket fra frø høstet i lokale takrørsbestander av Planteforsk (Landvik). Takrørene ble plantet ut med en tetthet på 4 planter pr. m<sup>2</sup>. Plantenes høyde ved utsetting var 25 - 35 cm. Ved etablering ble bassengene overfløymet med vann i 2-3 uker for å få til god vekst (10 cm med overvann).

I løpet av sommer og tidlig høst i 1997 vokste plantene til høyder på over 1 meter. Plantenes utvikling i bassengene gjennom våren 1998 var svært tilfredsstillende. Plantene spiret tidlig (sammenliknet med "ville bestander"), og nådde høyder på langt over 1,5 meter i løpet av sommeren og høsten (figur 3). Fra medio mai 1998 ble hvert av bassengene belastet med slam i sykluser. Slam ble tilført annenhver dag over én uke, med en etterfølgende hvileperiode på 5 uker (såkalt intermittert drift). Dette betyr at i 3 uker uten bassengkapasitet ble overskuddsslam fra renseanlegget mellom-lagret i luftet slamlager før transport ut av anlegget til ekstern behandling.



**Figur 3.** Basseng (1-3) for plantebasert avvanning i tilknytning til det biologiske renseanlegget i Tvedestrand kommune. Bassengene ble beplantet i juni 1977, og har vært i drift siden 19. mai 1988. Bildet ble tatt høsten 1998.

I juli 1998 ble de tre siste bassengene beplantet med takrørsplanter fra Planteforsk (figur 4). Ultimo august ble det satt i gang med lav til moderat belastning av disse siste 3 bassengene.



I bassengene 4 - 6 ble slammet tilført på planter som enda ikke hadde vokst særlig over de 20 - 30 cm de målte ved utplantingen. Årsaken til den begrensede tilveksten i bassengene 4 - 6 er muligens at det ikke ble tilstatt tilleggsgjødsel under overflømmingsperioden.



**Figur 4.** Basseng (4-6) for plantebasert avvanning i tilknytning til det biologiske renseanlegget i Tvedestrand kommune. Bassengene ble beplantet i juli 1988. Bildet ble tatt høsten 1998. Rørsystemet for tildeling av slam sees i bakkant av de to nærmeste bassengene.

## 3 METODER

### 3.1 Driftsrutiner

Normaldrift ved slamaavvanningsanlegget i Tvedestrand baseres på tilførsel av aktivslam i luftet fase til bassengarealene. Hvert av de 6 bassengene belastes i en uke av gangen, for så å hvile i 5 uker. Slamtildeling skjer annenhvert døgn med minimum 24 timer mellom tilførsel fra siste reaktor i en økt og første reaktor i påfølgende økt. Slamtildelingen tar fra 45 minutter til 1 time og 15 minutter. Slammet renner ut over bassengoverflaten fra midtstilte påføringsrør.

Når tildeling skjer gis signal til prøvetakingssystem i pumpestasjon samtidig med at rejektivannet føres tilbake til renseanlegget. Prøvetakingen er mengdeproporsjonal og gjennomstrømning registreres elektronisk.



## 3.2 Driftsoppfølging av slamavvanningsanlegget

Driftsoppfølgingen skal gi informasjon om:

- ✓ Hydraulisk belastning og gjennomstrømningshastighet
- ✓ Stoffbelastning
- ✓ Rejektvannets kvalitet
- ✓ Slamkvalitet

## 3.3 Kvalitet på tilført slam

Det er forventet at rejektvannet fra slamavvanningsanlegget har en kvalitet som fortennet avløpsvann, med andre ord at innholdet av organisk stoff og næringssalter vil være langt lavere enn tilsvarende fra mekaniske avvanningsenheter. Kunnskap om slamkvaliteten på tilført slam er derfor viktig for å kunne vurdere filterets egenskaper som "renseanlegg".

Slamprøver ble tatt ut som blandprøver fra de 2 reaktorene som var i drift ved hver slamtilførsel. Det ble tatt ut tilstrekkelig volum for å kunne gjennomføre fysisk/kjemisk karakterisering av slammet ved hjelp av standard målinger og kjemiske analyser. For kjemiske analyser (KOF<sub>total</sub>, tot-N, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N og tot-P) ble 0,5 liter homogenisert prøve fryst ned. Disse prøvene ble analysert gruppevis, 6 ganger, i løpet av driftsoppfølgingsperioden.

### 3.3.1 Slamvolum

0.5 – 1 liter slam fra luftet fase overføres til en målesylinder. Slamvolumet ble avlest direkte etter 30 minutters henstand.

### 3.3.2 Totalt Suspendert Stoff (TSS) / Totalt Tørr Stoff (TTS)

Registrering av TSS i en slamprøve krever filtrering. Dette kan lett bli tidkrevende p.g.a. høye stoffkonsentrasjoner i slam. I prosjektet ble imidlertid små prøvevolum filtrert (10-50 ml).

For TTS-bestemmelse ble volumer på 50 – 100 ml dampet inn ved 80 – 105°C over natten for påfølgende veiing. TTS-verdier inkluderer vannløslige salter og organisk stoff og er naturlig nok høyere enn TSS-verdien i den samme slamprøven.

### 3.3.3 Innhold av patogene bakterier

Det er viktig å få kunnskap om hygieniske forhold ved denne type slamavvanning, både for å kunne vurdere arbeidsmiljø og tilbakeholdelsen av patogener i filtermediet. Det vil bli gjennomført undersøkelser av slammet for å kartlegge innholdet av eventuelle *Salmonella* spp. og termotolerante koliforme bakterier (TKB).

### 3.3.4 KOF<sub>total</sub>

For å få et grunnlag å bestemme fjerning av organisk stoff ble det bestemt å analysere med hensyn på KOF<sub>total</sub>. Enkelte prøver ble imidlertid fraksjonert i en filtrert og en ufiltrert prøve.

Dette for å kunne beskrive endringer i den løste fraksjonen. Mikrobielle prosesser og transport til og fra planterøtter vil innvirke på KOF-forhold i rejektivannet.

### 3.3.5 Tot-N, NH<sub>4</sub>-N og NO<sub>3</sub>-N

Litteraturen dokumenterer nitrifikasjon i denne type plantebaserte filtre. I hvilken grad forholdene ligger til rette for denitrifikasjon er mere usikkert. Kunnskap om N-omsetningen i filteret er dessuten viktig for vurdering av oksygenstatus i filteret (redokspotensialet), og kan også være nyttig for å tilpasse selve driften av renseanlegget. Nitrogenomsetningen vil ventelig også være avhengig av årstid og planteproduksjonen. I sommerhalvåret forventes således tilbakeholdelsen av nitrogen i plantematerialet å spille en større rolle enn i vinterhalvåret. Aktiviteten av mikroorganismene i rotsonen vil sannsynligvis også være høyere om sommeren enn om vinteren.

### 3.3.6 Tot-P

Analyser av tot-P vurderes å være tilstrekkelig for å kunne vurdere endringer i fosforstatus i rejektivannet. Forskjeller i rejektivannskvalitet som funksjon av sommer- og vinterdrift må forventes, og i denne sammenheng kan det være av interesse å skille mellom løst og partikulær fosfor.

## 3.4 Hydraulisk belastning

Tilførte slammengder ble registrert. Mengdene angis som totalmengder (m<sup>3</sup>) og som mengder pr. tidsenhet (m<sup>3</sup>/time).

Det ble også utført registreringer av rejektivannsmengder. Det var nødvendig å foreta målinger av gjennomstrømningshastighet og gjennomstrømningsforløp (variasjon over tid). Verdiene oppgis som m<sup>3</sup>/time. Disse registreringer vil gi grunnlag for veiledende beregninger av avvanningshastigheten (hydrauliske egenskaper) i filteret.

## 3.5 Stoffbelastning

Stoffbelastningen ble beregnet ved å multiplisere konsentrasjonen av totalt suspendert stoff (TSS) eller totalt tørrstoff (TTS) i tilført slam med mengde tilført slam.

## 3.6 Rejektivannets kvalitet

Prøvene av rejektivann ble tatt ut som mengdeproporsjonale blandprøver ved hjelp av automatisk prøvetaker. Analysene av slike prøver gir grunnlag for å påvise endringer i stofftransport gjennom filtermassen. Prøvevolumer av 0.5 liter ble frosset ned for senere analyse av SS<sup>1</sup>, KOF<sub>total</sub>, Tot-N, NH<sub>4</sub>-N og NO<sub>3</sub>-N og Tot-P.

---

<sup>1</sup> Det bør sjekkes om det skjer endringer i SS ved frysing

Det vil etter hvert også tas stikkprøver for analyse av indikatororganismer. Sistnevnte gir grunnlag for å kunne vurdere tilbakeholdelse i filtermassen.

## 4 RESULTATER

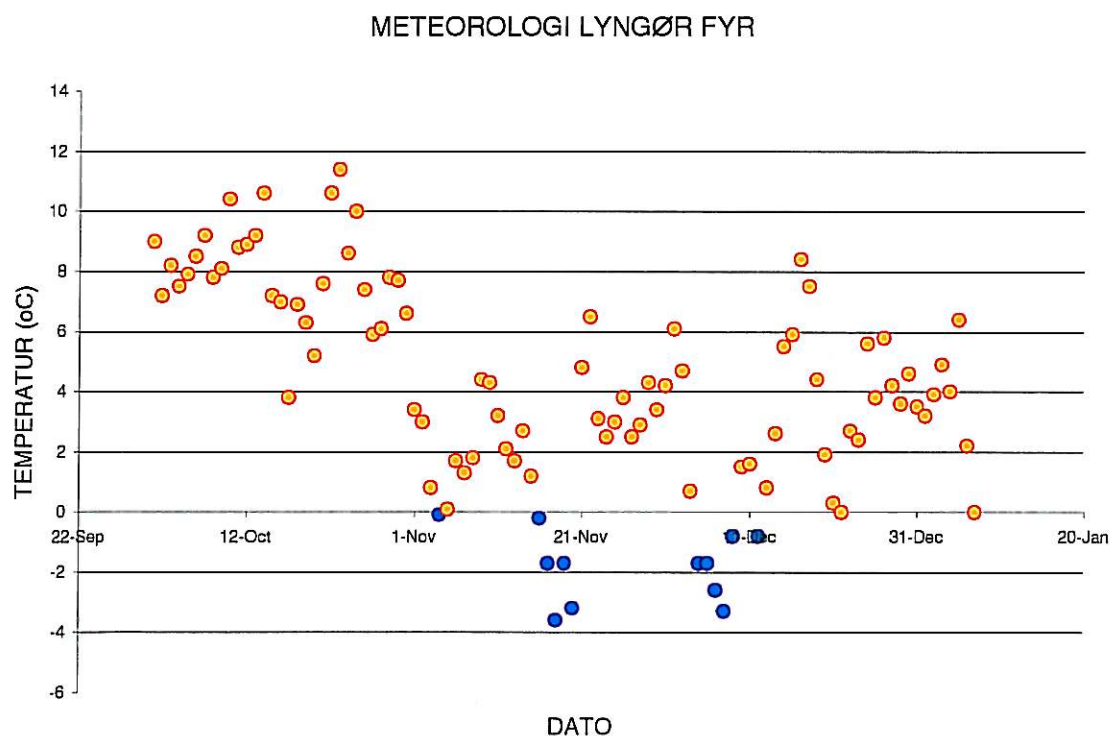
### 4.1 Metereologiske forhold under overvåkingsperioden

For å ha et best mulig grunnlag å vurdere driftsmessige (spesielt hydrauliske) forhold, ble det innhentet metereologiske data fra Det Norske Metereologiske Institutt's (DNMI's) værstasjon på Lyngør fyr utenfor Tvedestrand.

Det skal imidlertid presiseres at metereologiske forhold kan variere betraktelig selv innenfor små avstander. Temperaturen på Lyngør fyr vil f.eks normalt være noe høyere enn inne i selve Tvedestrand by, hvor renseanlegget og slamavvanningsbassengene ligger.

#### 4.1.1 Temperaturforhold

Av figur 5 fremgår at det i driftsperioden ikke inntraff døgn med sprengkulde, noe som heller ikke har vært normalt på 90-tallet langs Skagerrakkysten. I driftsperioden varierte temperaturen mellom  $-3.6^{\circ}\text{C}$  og  $11.3^{\circ}\text{C}$ . Det ble i kortere perioder observert tilfrysing i begge bassengarealene. Den hydrauliske kapasiteten synes imidlertid ikke å bli negativt påvirket av denne tilfrysingen.



**Figur 5.** Gjennomsnittlige døgntemperaturer målt på DNMI's meteorologiske stasjon på Lyngør fyr gjennom driftsperioden.

## 4.1.2 Nedbør

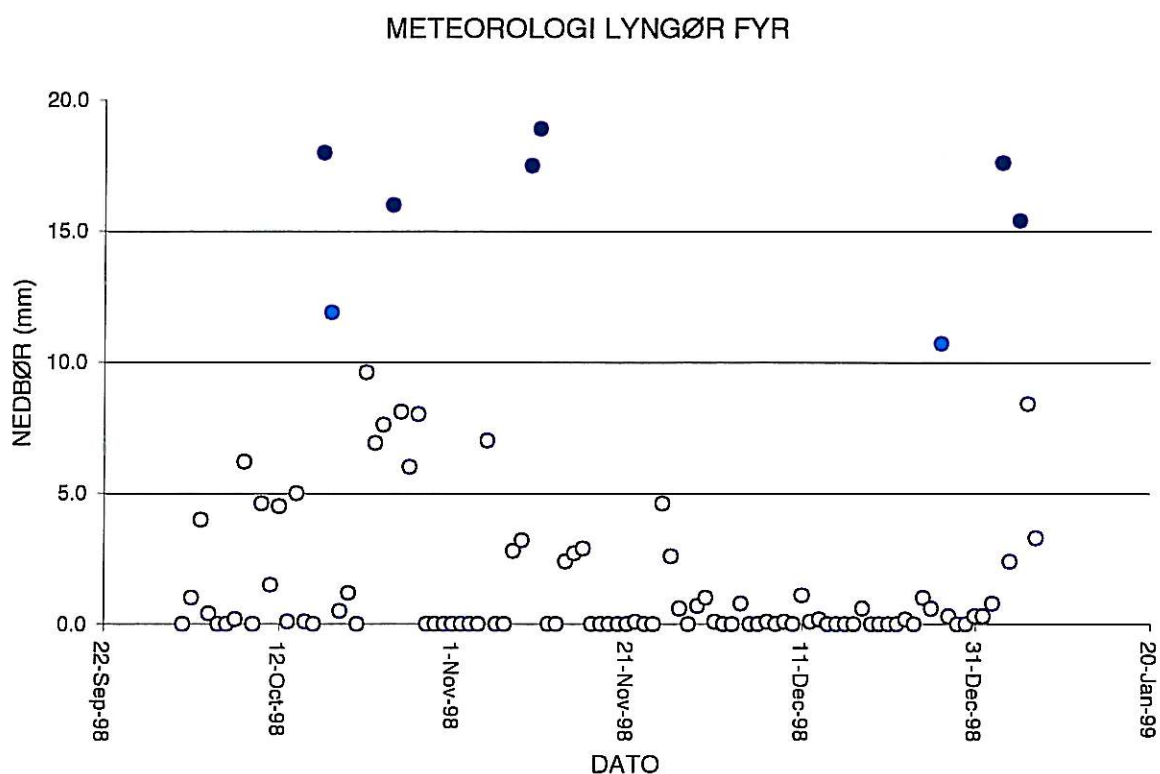
Nedbørsmengdene i store deler av driftsperioden var relativt begrensede. Følgende mengder ble målt i forhold til normaltall:

- Oktober            121.4 mm    (103 % av normal)
- November        67.0 mm    ( 67 % av normal)
- Desember        16.2 mm    ( 24 % av normal)
- Januar            134.1 mm   (184 % av normal)

Noen dager mot slutten av driftsperioden (de første dagene av januar) var imidlertid svært nedbørsrike.

Som vist i figur 6 ble det registrert i alt 6 døgn med mer enn 15 mm nedbør, mens 37 av driftsdøgnene var nedbørsfrie ved Lyngør fyr.

I den følgende driftsmessige gjennomgangen av hvert enkelt basseng er nedbørsdata inkludert.



**Figur 6.** Nedbørsmengder målt på DNMI's meteorologiske stasjon på Lyngør fyr gjennom driftsperioden



## 4.2 Stoffmessige og hydrauliske belastninger av takrørsbassengene

Tabell 2 viser samlet stoffmessige og hydrauliske belastninger på takrørsbassengene 1 - 6 gjennom driftsperioden. Som det fremgår har belastningene vært relativt høye. De beregnede årsbelastningene som fremkommer i tabellen påpeker helt klart dette forholdet. Belastningen gjennom de 2-3 første driftsårene skulle ideelt ligge rundt 30 kg TS/m<sup>2</sup>, og aldri overstige 50 kg TS/m<sup>2</sup> \* år .

En sannsynlig forklaring på "overbelastningen" er imidlertid forhold knyttet til selve prøvetakingen. Ved enkelte tilfeller ble det observert overløp i prøvebeholderen, og det er av driftspersonalet antatt at det i slike situasjoner foregikk en betydelig akkumulering av slamtørrstoff i beholderen som følge av sedimentering.

Videre ble prøvene tatt gjennom en magnetventil plassert i en tappestusm. Over denne magnetventilen var det et mindre volum hvor det ble stående noe fortykket slam mellom hver prøvetaking. Dette slammet har nok også har ført til en viss oppkonsentrering av totalprøven. Resultatene som er vist i tabell 2 kan derfor være så mye som 25 - 40% over reelle verdier.

**Tabell 2.** Stoffbelastning og hydraulisk belastning av enkeltbassengene i slamavvanningsanlegget i Tvedestrand kommune.

	Basseng 1	Basseng 2	Basseng 3	Basseng 4	Basseng 5	Basseng 6
Areal (m <sup>2</sup> )	240	312	337	350	398	350
Hydraulisk belastning (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> )	1.9	1.3	1.4	0.8	1.1	1.1
Estimert årsbelastning (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> * år)	9.1	6.0	6.5	4.8	5.1	5.4
Stoffbelastning (kg / m <sup>2</sup> )	12.1	8.7	9.9	5.9	6.4	7.0
Estimert årsbelastning (kg / m <sup>2</sup> * år)	57.5	41.3	47.0	33.6	30.4	33.3

### 4.3 Hydrauliske driftsforhold

I figurene 7, 9, 11, 13, 15 og 16 vises nedbørsmengdene i belastningsperiodene for hvert enkelt basseng som søylediagram. Total nedbørsmengde i belastningsperioden er angitt over søylene.

Figur 8, 10, 12, 14, 16 og 18 angir eksempler på vannmengde (l/sek) som drenerte gjennom hvert slamavvanningsbasseng i tidsrom med mye og lite nedbør i belastningsperiodene (sort heltrukken linje). Slamtildeling er merket med rødt, mens nivå i pumpekum er merket med symboler.

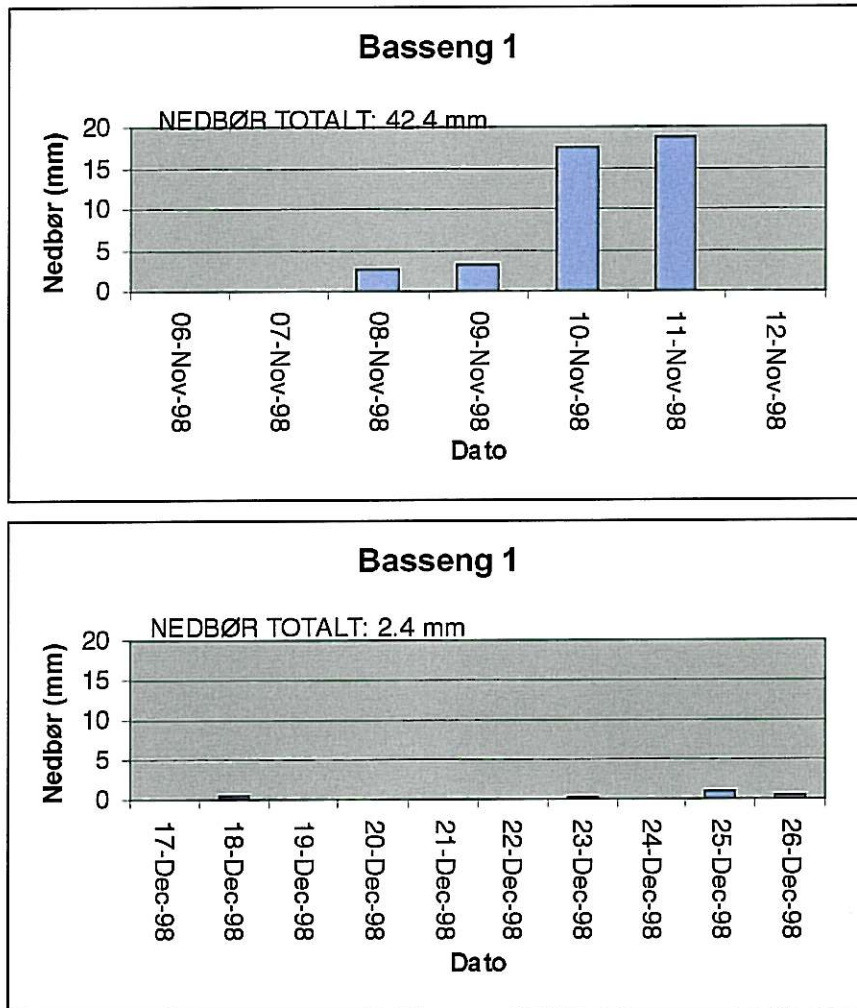
I tabellene 3, 4, 5, 6, 7 og 8 vises vannmengdene som drenerte gjennom hvert basseng etter utpumping av slam. Akkumulerte vannmengder etter ulike tider fra slamtildeling er gitt. Det er også vist prosentvis mengde i forhold til tilført mengde slam fra hver reaktor (R1 og R2). Følgende tider fra tidspunktet for slamtildeling er benyttet for å beregne akkumulerte vannmengder:

- 6 timer etter tildeling fra reaktor 1 og 2 (R1 og R2)
- 12 timer etter tildeling fra R1 og R2
- 24 timer etter tildeling fra R1 når de to reaktorene tømmes med mindre enn 6 timers mellomrom
- 12 timer etter tildeling fra R2 når de to reaktorene tømmes med mindre enn 6 timers mellomrom

### 4.3.1 Basseng 1

Basseng 1 ble belastet med slam i periodene:

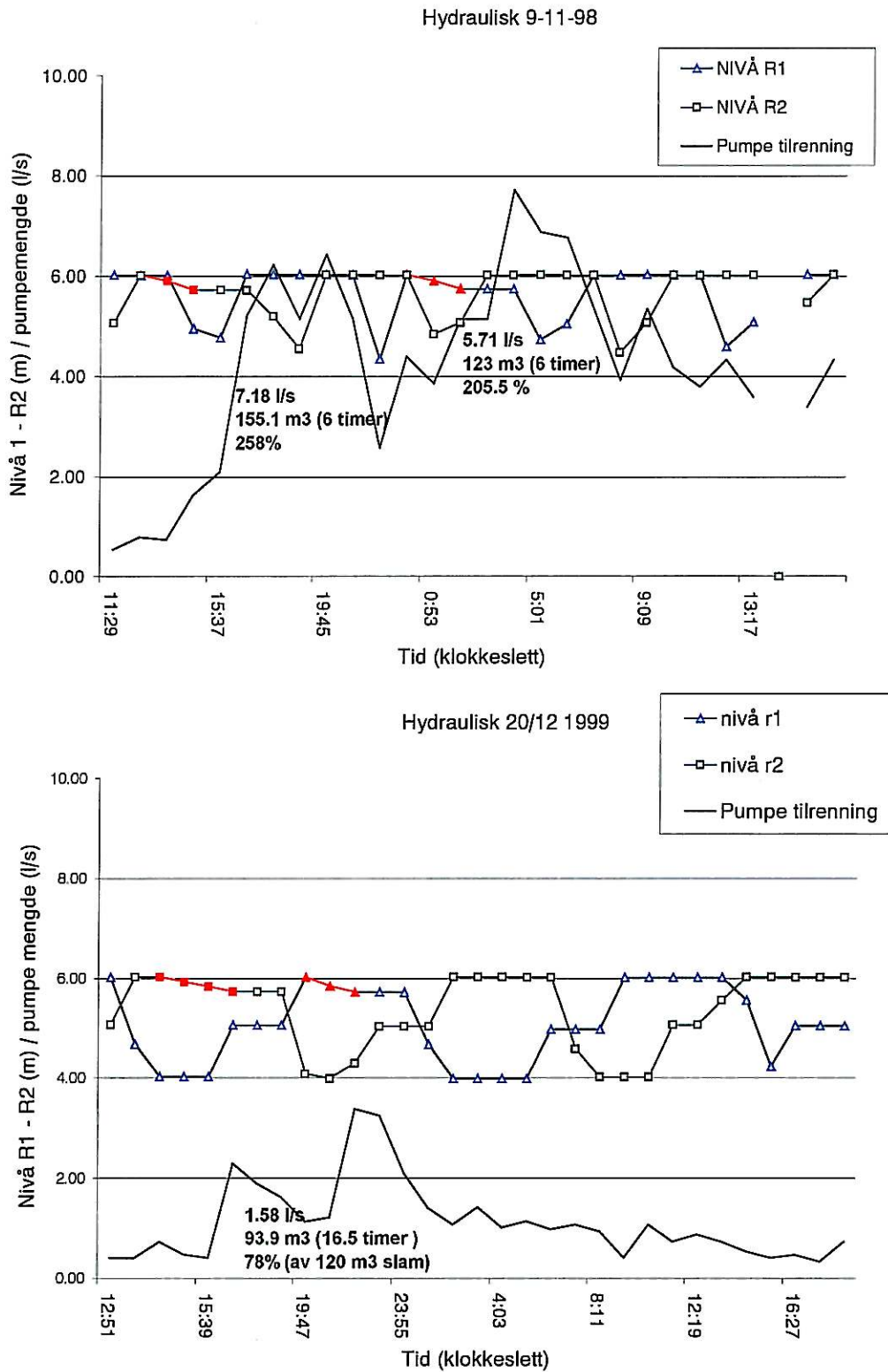
1. 7 /11 - 12/11 1998
2. 18/12 - 26/12 1998



Figur 7. Nedbør i belastningsperiodene for basseng 1.

Som det fremgår av figur 7 falt det betydelig nedbør (42.4 mm) i den første av periodene. Disse nedbørsmengdene gir seg utslag på de hydrauliske dataene i tabell 3.

I den andre perioden falt det minimalt med nedbør.



**Figur 8.** Figuren viser drenering av vann gjennom basseng 1 den 9-11/11 1998 (nedbørsrik periode) og den 20/12 1998 (nedbørsfattig periode). Slamtildeling er merket med rødt. Gjennomstrømming av dreneringsvann fremgår av sort heltrukket linje.



Tabell 3. Hydrauliske data fra driften av basseng 1.

DATO PERIODE 1	BASSENG 1 - Periode 1					
	7-8/11 R1	7-8/11 R2	9-10/11 R1	9-10/11 R2	11-12/11 R1	11-12/11 R2
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	1.26	1.89	7.18	5.71	3.2	2.7
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	29.3	40.8	155.1	123	69.2	57.5
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	49%	68%	258%	206%	115%	96%
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 12 t. (l/s)	2.09					
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )	90.2					
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	150%					
DATO PERIODE 2	18-19/12	20-21/12	22-23/12	24-26/12		
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 24 t. etter reaktor 1 (l/s)	1.28	1.3	1.28	1.42		
Volum <sub>24</sub> (m <sup>3</sup> )	110.6	111.9	104	122.8		
% av tilf. (120 m <sup>3</sup> )	92%	93%	87%	102%		
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 12 t. etter reaktor 2 (l/s)	1.61	1.58	1.49	1.6		
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )	86.2	94	89	108		
% av tilf. (120 m <sup>3</sup> )	72%	78%	74%	90%		

Tallene i tabellen dokumenterer at det skjer en betydelig innlekking av vann ved store nedbørmengder. Dersom det totale nedbørsfeltet fra begge bassengarealene anslås til 2500 m<sup>2</sup>, vil eksempelvis 20 mm nedbør gi en hydraulisk ekstrabelastning på 50 m<sup>3</sup>. Resultatene i tabell 3 viser imidlertid at det i tillegg til slamvann og nedbør (fra selve bassengarealene) også må lekke inn (grunn)vann fra sidene av bassengene. Dette synes spesielt å være et problem i det nedre bassengarealet. Under driftsperioden ble det derfor gravd en pumpebrønn for å kontrollere (grunn)vanninntrengningen.

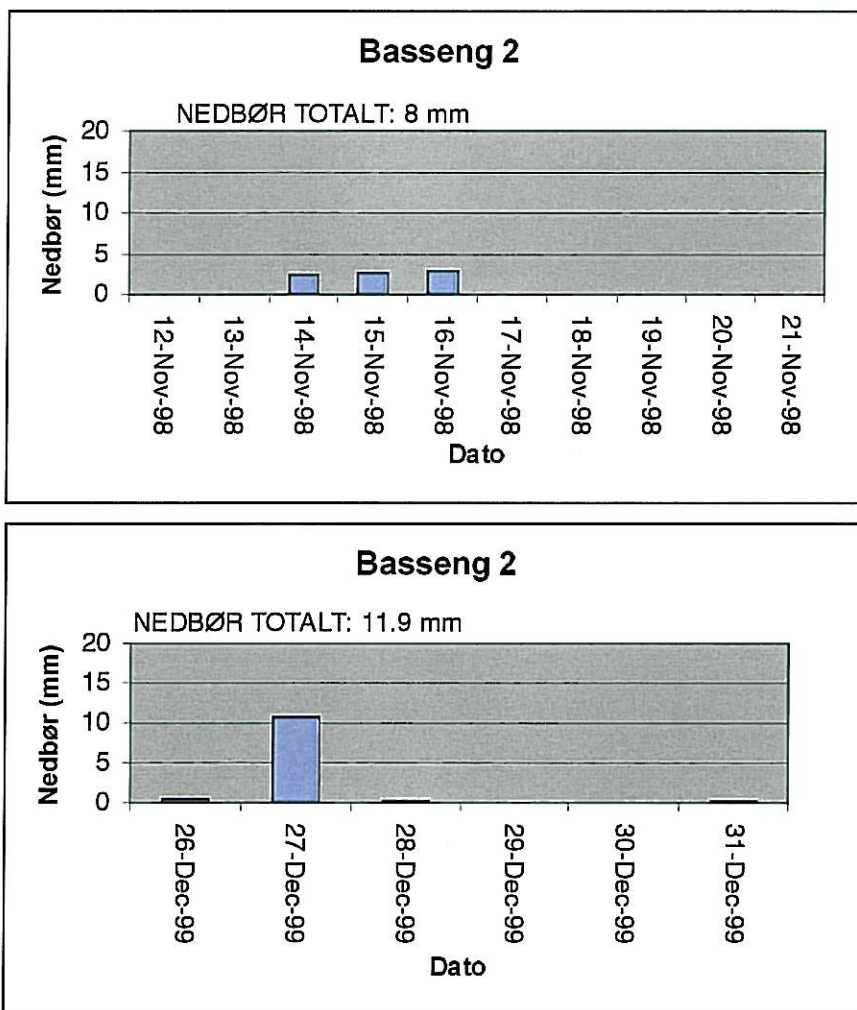
Resultatene fra periode 2 viser at > 70% av slamvannet dreneres i de første 12 timene etter tilførsel av slam. Etter 18 – 20 timer ser det ut som om ca. 90% av filtratet er pumpet i retur til rensesanlegget.

Resultater fra analyser av stikkpøver av slam hentet i nedbørsfattige perioder viste 7.4 – 8.5 % tørrstoff i slam ett døgn (24 timer) etter tilførsel. 3 uker etter tilførsel av slam var tørrstoffinnholdet typisk 13 – 14% (Rønning, 1998).

#### 4.3.2 Basseng 2

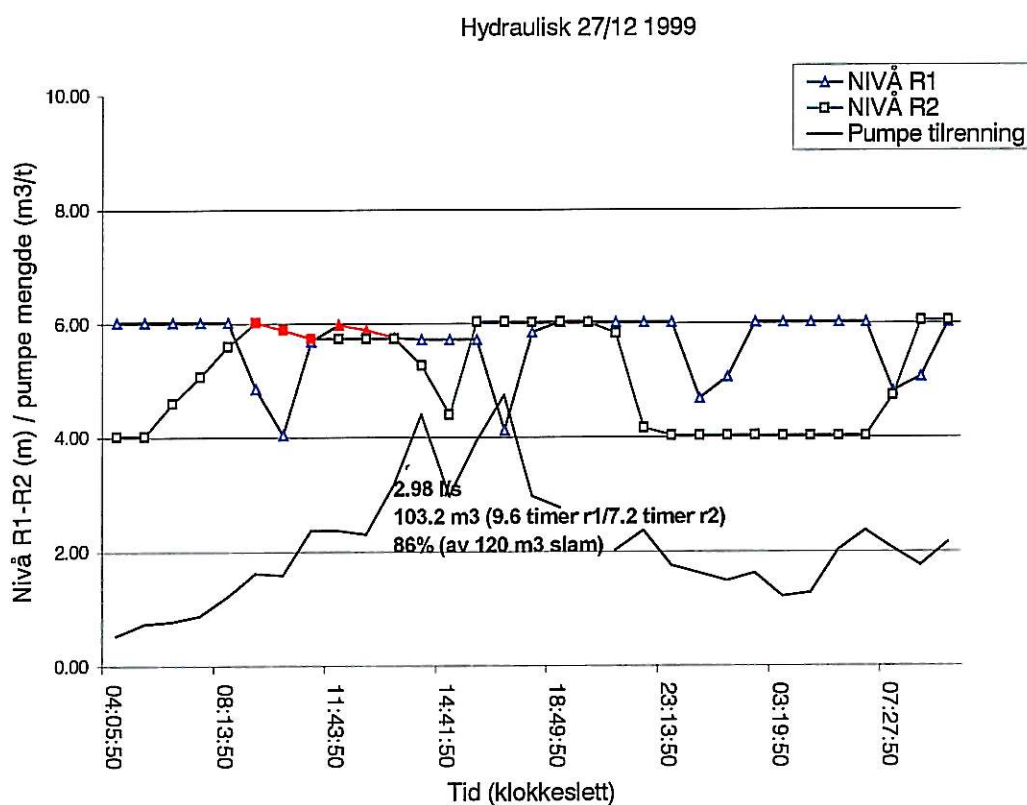
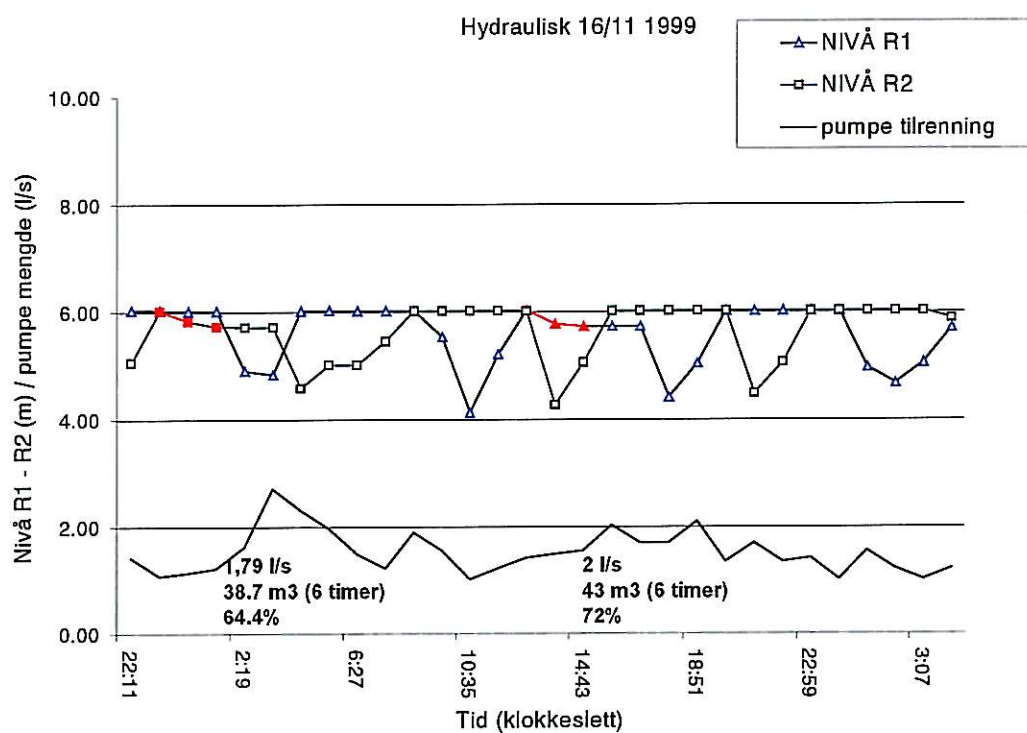
Basseng 2 ble belastet med slam i periodene:

1. 12/11 - 21/11 1998
2. 27/12 - 31/12 1998



Figur 9. Nedbør i belastningsperiodene for basseng 2.

Ingen av periodene fremhevet seg med spesielt store nedbørsmengder. Det skal imidlertid anmerkes at det den 27/12 falt i overkant av 10 mm nedbør.



**Figur 10.** Figuren viser drenering av vann gjennom basseng 1 den 16/11 1998 (nedbørsfattig periode) og den 27/12 1998 (nedbørsrik periode). Slamtildeling er merket med rødt. Gjennomstrømning av dreneringsvann fremgår av sort heltrukket linje.

Tabell 4. Hydrauliske data fra driften av basseng 2.

DATO PERIODE 1	BASSENG 2							
	13-14/11 R1	13-14/11 R2	15-17/11 R1	15-17/11 R2	18-19/11 R1	18-19/11 R2	20-21/11 R1	20-21/11 R2
Gjennomstrømm. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	1.9	2.1	1.8	2.0	1.7	1.8	1.05	1.5
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	42	45	39	43	36	38	23	33
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	70%	75%	64%	72%	60%	64%	38%	54%
Gjennomstrømm. Gjennomsnitt 12 t. (l/s)							0.95	1.2
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )							41.5	51.7
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )							69%	86%
DATO PERIODE 2	27-28/12 <sup>1</sup>		30-31/12					
Gjennomstrømm. Gjennomsnitt 24 t. etter reaktor 1 (l/s)	2.98		1.5					
Volum <sub>24</sub> (m <sup>3</sup> )	103.2		131					
% av tilf. (120 m <sup>3</sup> )	86 %		109%					
Gjennomstrømm. Gjennomsnitt 12 t. etter reaktor 2 (l/s)			1.9					
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )			98					
% av tilf. (120 m <sup>3</sup> )			82%					

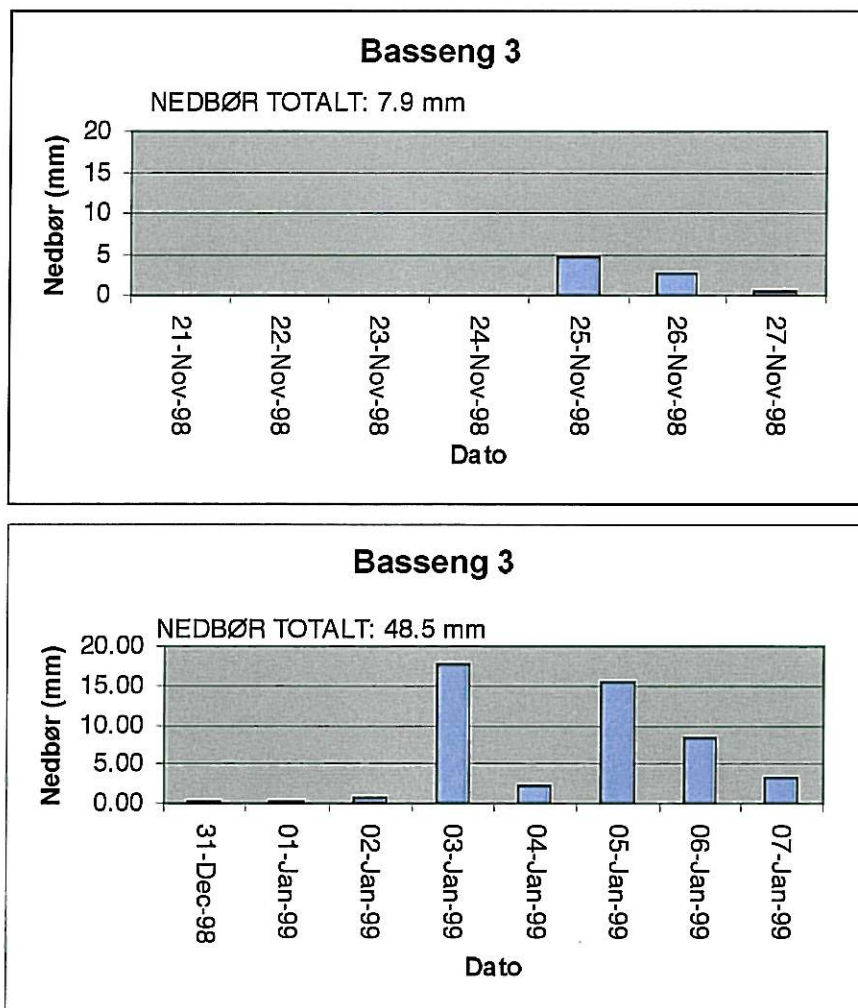
1 9.6 timer etter tømning R 1 og 7.2 timer etter tømning R 2 (Totalt fra R 1 16.8 timer)

I periode 1 tyder gjennomstrømmingvolumene på 38 – 45 m<sup>3</sup> over 6 timer på en viss nedbørspåvirkning (2,5 – 3,5 mm). Returpumping av > 100 m<sup>3</sup> rejektivann mindre enn 8 timer etter slamtilførsel fra R2 (27-28/12) viser også klart hvordan nedbør gir en unødvendig hydraulisk tilleggsbelastning på renseanlegget. Resultatene bekrefter for øvrig at rundt 90% slamvann dreneres innen 20 timer etter tilførsel fra R2.

### 4.3.3 Basseng 3

Basseng 3 ble belastet med slam i periodene:

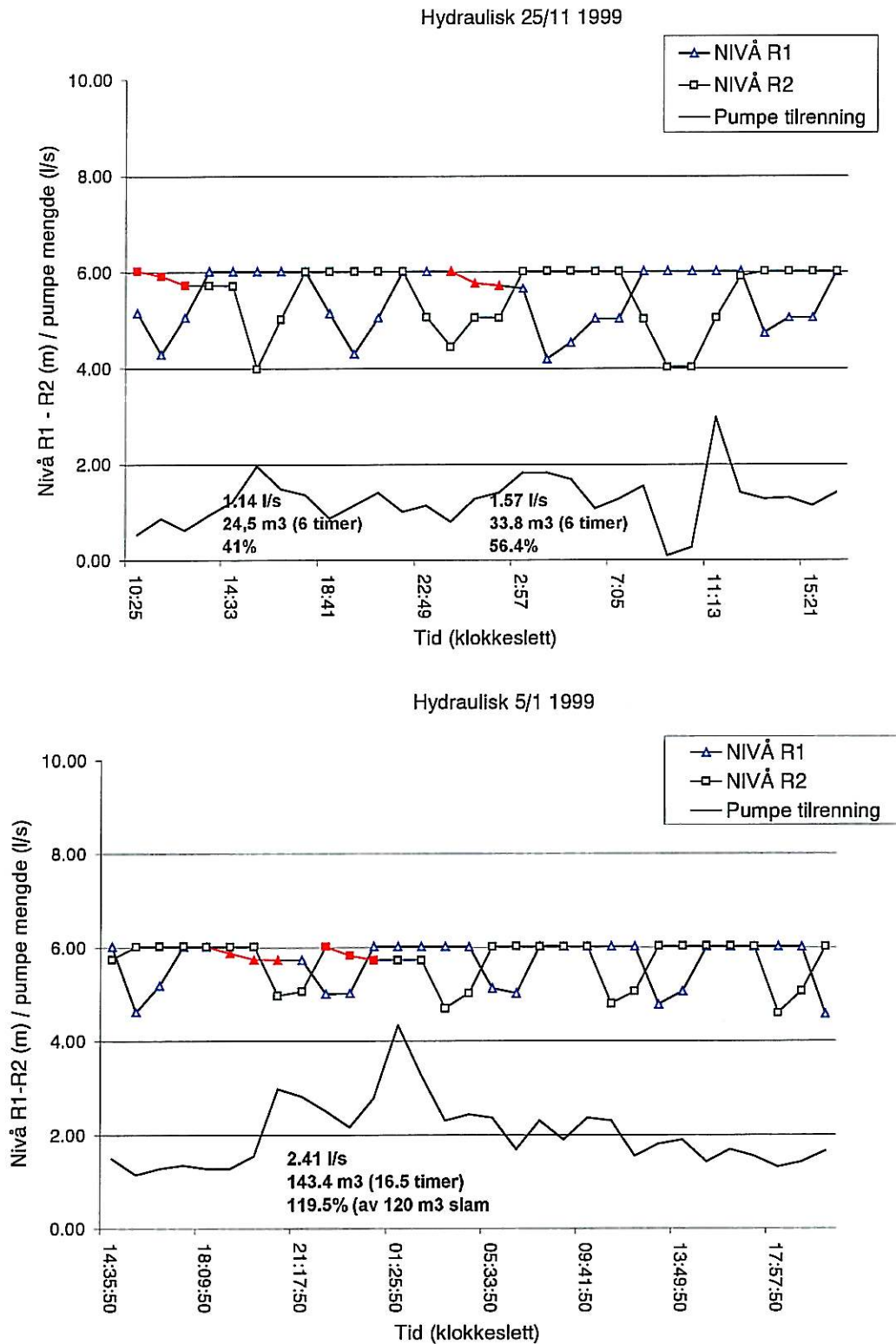
1. 21/11 - 27/11 1998
2. 31/12 - 98 - 7/1 1999



Figur 11. Nedbør i belastningsperiodene for basseng 3.

Figur 11 viser at første uken i januar 1999 var særdeles nedbørsrik, mens den første av belastningsperioden var mer normal med hensyn til nedbør.





**Figur 12.** Figuren viser drenering av vann gjennom basseng 1 den 25/11 1998 (døgn med noe nedbør) og den 5/11999 (nedbørsrik). Slamtildeling er merket med rødt. Gjennomstrømning av dreneringsvann fremgår av sort heltrukken linje.



Tabell 5. Hydrauliske data fra driften av basseng 3.

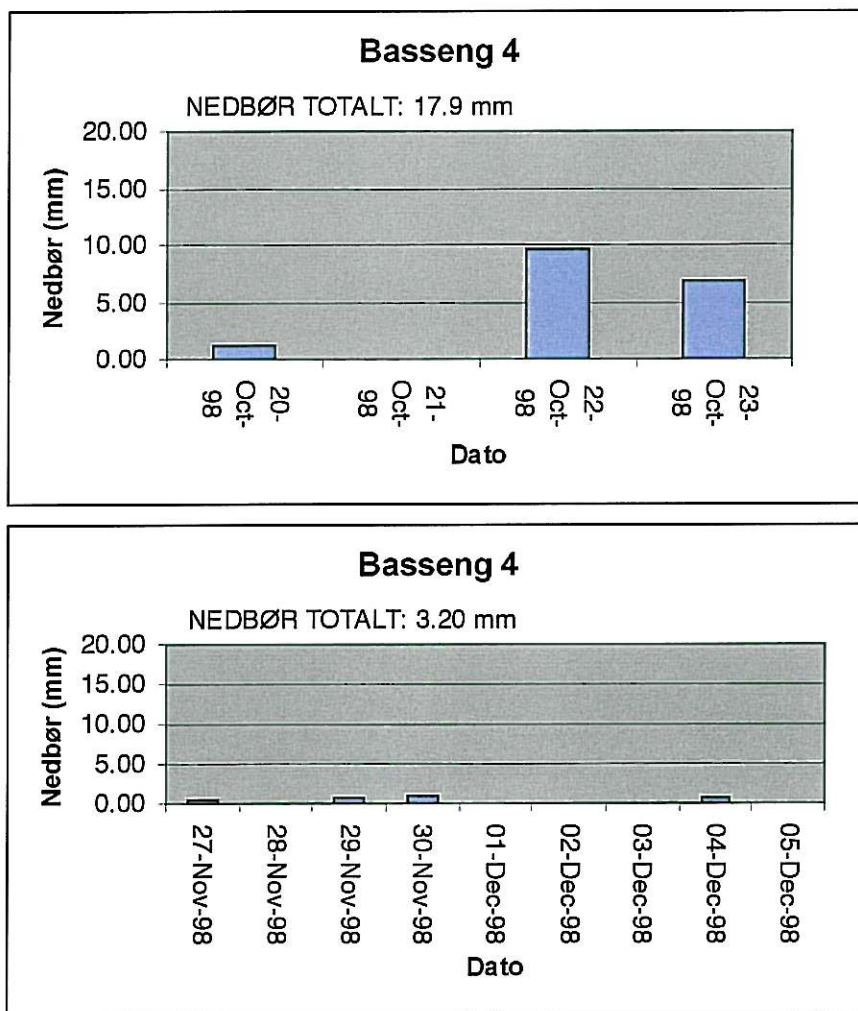
	BASSENG 3						
DATO PERIODE 1	22-23/11 R1	22-23/11 R2	24-25/11 R1	24-25/11 R2	26-27/11 R1	26-27/11 R2	
Gjennomstrømm. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	2.01	1.73	1.14	1.57	1.25	1.49	
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	43.5	37.4	24.5	33.8	27	32.3	
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	72.5%	62%	41%	56%	45%	54%	
Gjennomstrømm. Gjennomsnitt 12 t. (l/s)	1.72	1.48	1.16	1.31	1.28	1.53	
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )	74.2	64.1	50	56.5	55.2	66.2	
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	124%	107%	83%	94%	92%	110%	
DATO	1-2/1	3-4/1	5-6/1	7-8/1			
Gjennomstrømm. Gjennomsnitt 24 t. etter reaktor 1 (l/s)	1.74	2.8	2.21	1.61			
Volum <sub>24</sub> (m <sup>3</sup> )	150.1	242	191	139.3			
% av tilf. (120 m <sup>3</sup> )	125%	202%	159%	116%			
Gjennomstrømm. Gjennomsnitt 12 t. etter reaktor 2 (l/s)	1.86	2.58	2.41	1.81			
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )	106.7	148.3	143.4	111.8			
% av tilf. (120 m <sup>3</sup> )	87%	125%	120%	93%			

Tallene i tabell 5 bekrefter igjen at nedbørsperioder gir en tilleggsbelastning utover den rent arealbestemte, men også at bassengenes hydrauliske egenskaper er tilfredsstillende. Ut fra data i periode 1 kan det se ut som om 12 timer er tilstrekkelig for å drenere bort mer enn 95% av slamvannet. Dette understøtter i så fall TS-nivåer i slammet på opp mot 10% mindre enn ett døgn etter tilledning (jfr. Stikkprøver som viser 7.4 – 8.5% TS).

#### 4.3.4 Basseng 4

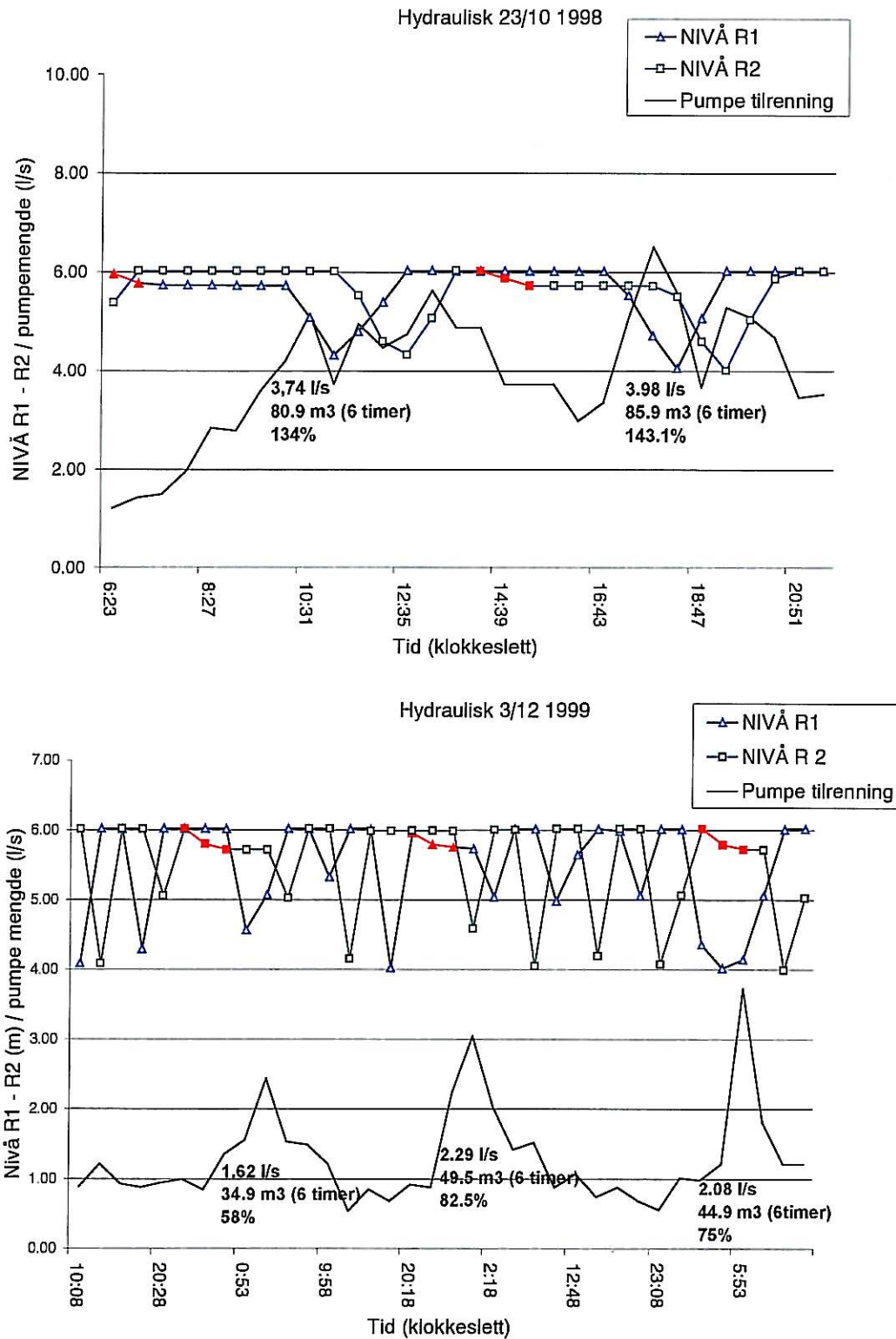
Basseng 4 ble belastet med slam i periodene:

1. 21/10 - 23/10 1998
2. 27/11 - 5/12 1998



Figur 13. Nedbør i belastningsperiodene for basseng 4.

I den første perioden falt det 17.9 mm nedbør over 2 døgn, mens den andre perioden var nedbørsfattig.



**Figur 14.** Figuren viser drenering av vann gjennom basseng 1 den 23/11 1998 (nedbørsrikt døgn) og den 1 - 5/12 1998 (nedbørsfattig periode). Slamtildeling er merket med rødt. Gjennomstrømming av dreneringsvann fremgår av sort heltrukket linje.

Tabell 6. Hydrauliske data fra driften av basseng 4.

	BASSENG 4							
DATO PERIODE 1	21/10 R1	21/10 R2	23/10 R1					
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	3.72	4.25	3.74					
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	80.3	91.7	80.9					
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	134%	153%	134%					
DATO PERIODE 2	28-29/11 R1	28-29/11 R2	30-1/12 R1	30-1/12 R2	2-5/12 R1	2-5/12 R2	2-5/12 R1	
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	2.19	2.0	2.01	1.41	1.62	2.29	2.08	
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	47.3	43.1	43.4	30.4	34.9	49.5	44.9	
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	79%	72%	73%	51%	58%	83%	75%	
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 12 t. (l/s)	1.56	2.17	1.78	1.55	1.47	1.89		
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )	67.3	93.6	76.9	67	63.6	81.6		
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	112%	156%	128%	112%	106%	136%		

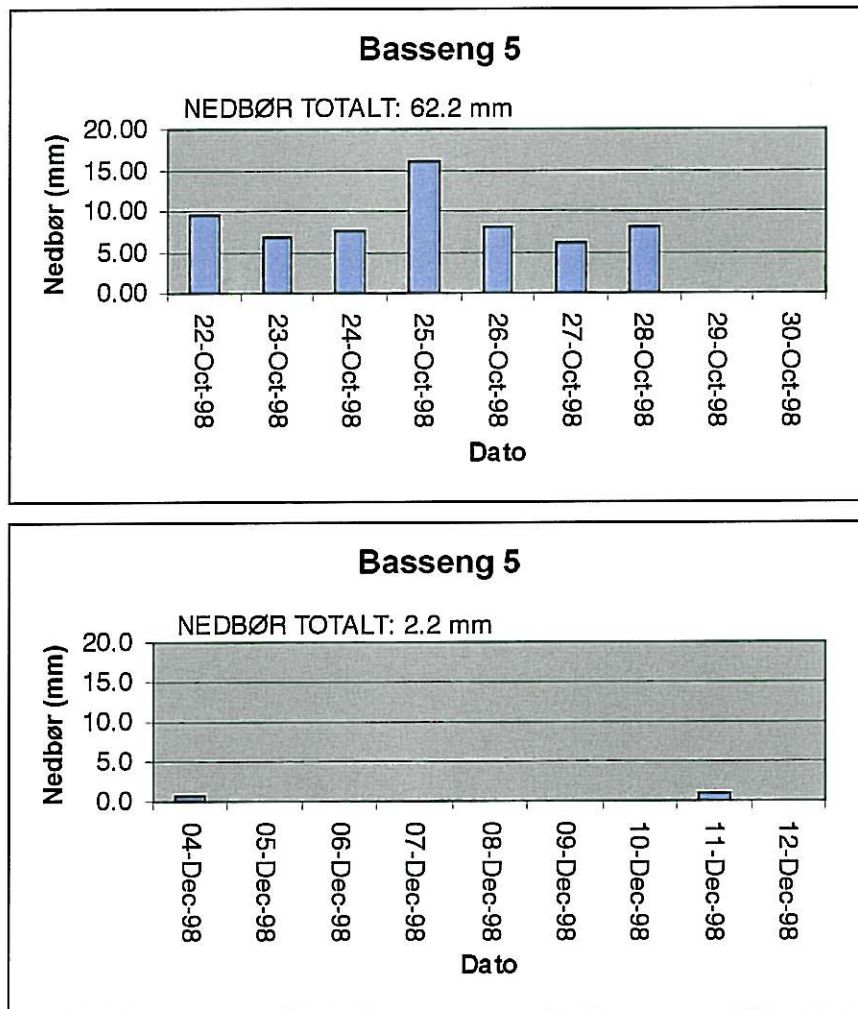
Nedbørsmengdene i den første perioden influerer på resultatene. Periode 2 er imidlertid nedbørsfattig. Resultatene fra denne perioden viser etter vår mening at takrørsbassengene har en særdeles tilfredsstillende hydraulisk kapasitet. Ved samtlige prøvetakinger pumpes mer enn 100 % av tilført slamvann i retur etter bare 12 timer. Dette antyder imidlertid også at det selv ved tørrvær tilføres "fremmedvann", og mulige forklaringer er altså:

1. Innlekking av (grunn)vann, spesielt i nedre bassengareal
2. Kontinuerlig drenering av "restvann" fra samtlige basseng

### 4.3.5 Basseng 5

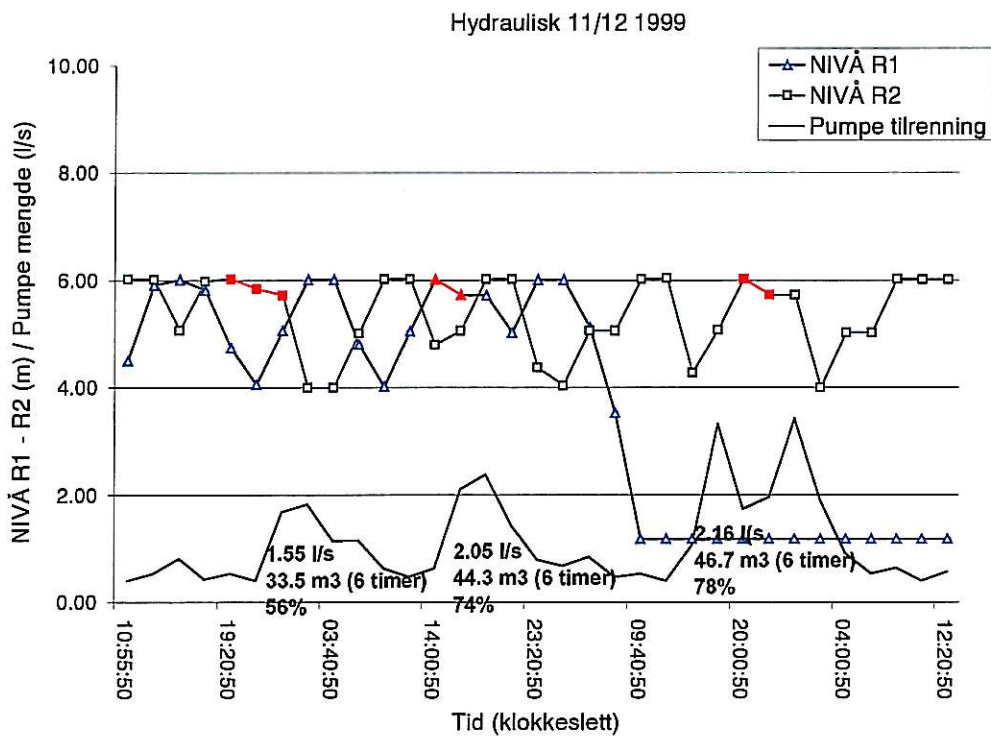
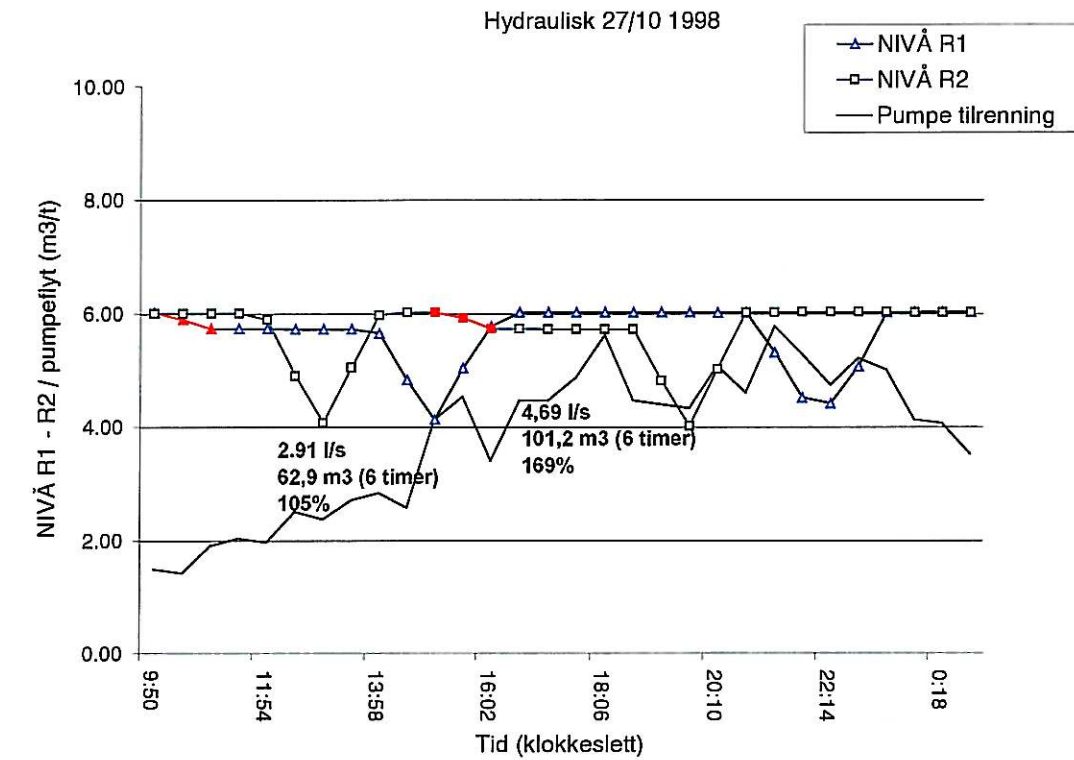
Basseng 5 ble belastet med slam i periodene:

1. 22/10 - 30/10 1998
2. 4/12 - 12/12 1998



Figur 15. Nedbør i belastningsperiodene for basseng 9.

Basseng nr. 5 ble belastet i én periode med mye nedbør fordelt ut over mange døgn og én periode med nesten fravær av nedbør. Nedbørmengden i periode 1 tilsvarer ca. 150 m<sup>3</sup> med slamvann.



**Figur 16.** Figuren viser drenering av vann gjennom basseng 1 den 27/10 1998 (nedbørsrikt døgn) og den 9 - 11/12 1999 (nedbørsfattig periode). Slamtildeling er merket med rødt. Gjennomstrømming av dreneringsvann fremgår av sort heltrukken linje.



Tabell 7. Hydrauliske data fra driften av basseng 5.

DATO PERIODE 1	BASSENG 5						
	23/10 R2	25/10	27-28/10 R1	27-28/10 R2	29-30/10 R1	29-30/10 R2	
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	3.98	6.13	2.91	4.69	2.8	3.64	
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	85.9	324	61.9	101.2	25.2	78.6	
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	143%		105%	169%	42%	131%	
DATO PERIODE 2	5-6/12 R1	5-6/12 R2	7-8/12 R1	7-8/12 R2	9-12/12 R1	9-8/12 R2	9-12/12 R1
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	2.09	1.75	1.57	1.59	1.55	2.05	2.16
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	45.2	37.8	33.8	34.3	33.5	44.3	46.7
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	75%	63%	56%	57%	56%	74%	78%
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 12 t. (l/s)	1.55	1.4	1.22	1.21	1.32	1.53	1.55
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )	66.8	56.9	52.5	52.2	56.9	66	66.8
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	111%	95%	88%	87%	95%	110%	111%

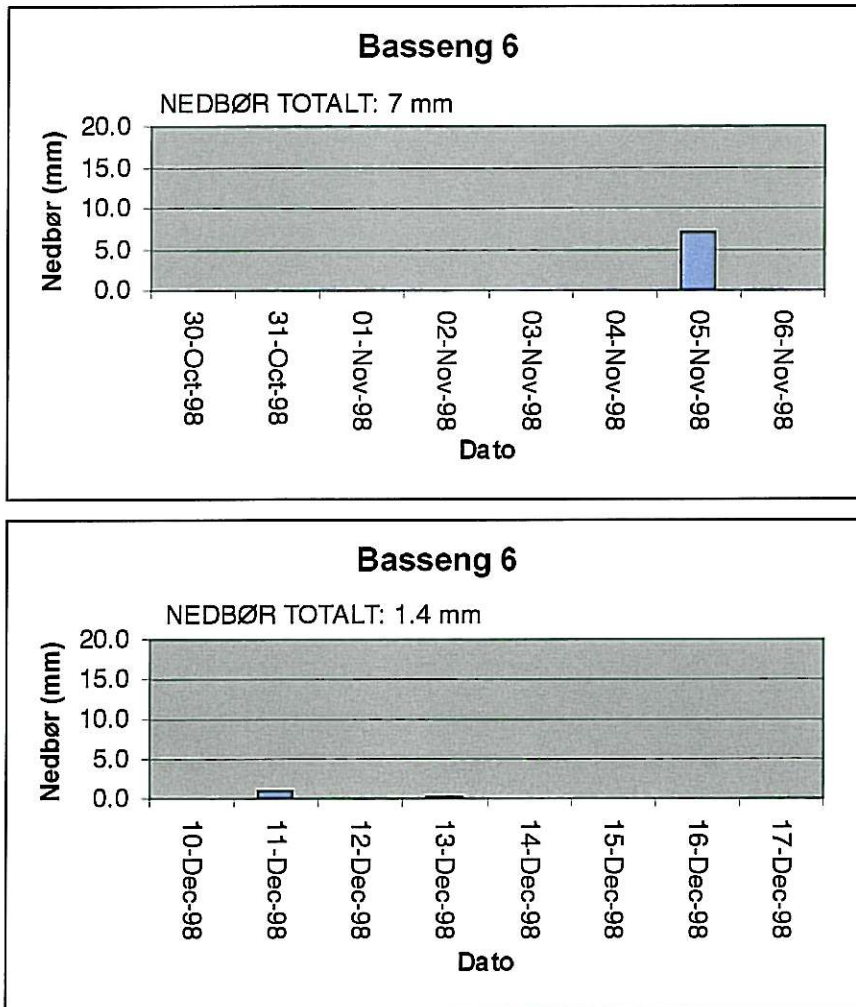
I periode 1 er returvannsmengdene svært høye, og den 25-26/10 er  $Q_{\text{snitt}}$  over 48 timer 6.13 l/s som er den høyeste gjennomstrømningen registrert i hele driftsperioden.

Resultatene fra periode nr. 2 dokumenterer igjen tilfredsstillende hydrauliske egenskaper i filteret.

### 4.3.6 Basseng 6

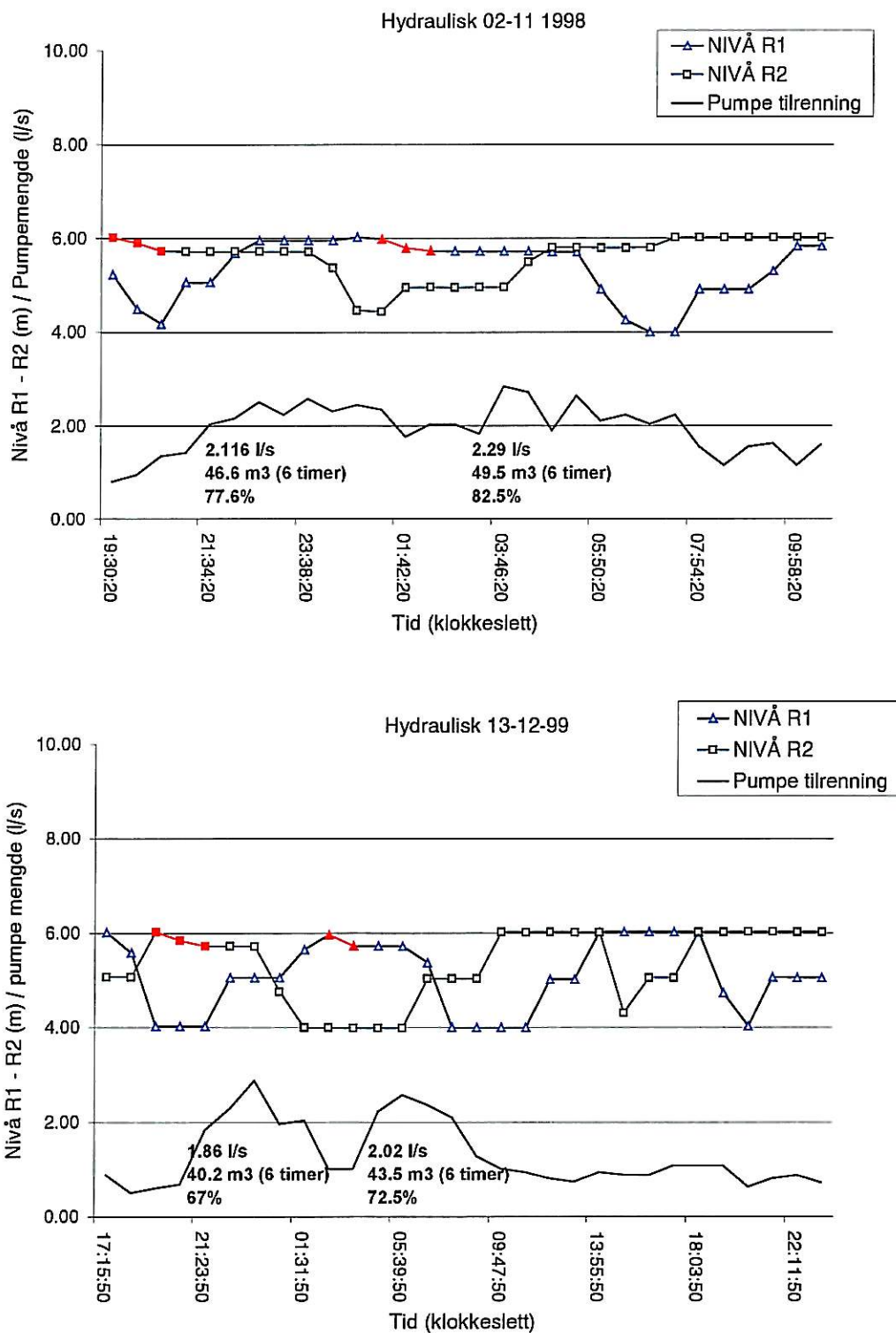
Basseng 6 ble belastet med slam i periodene:

1. 30/10 - 6/11 1998
2. 10/12 - 17/12 1998



Figur 17. Nedbør i belastningsperiodene for basseng 6.

Basseng nr. 6 ble kun belastet i nedbørsfattige perioder



**Figur 18.** Figuren viser drenering av vann gjennom basseng 1 den 2/11 1998 (nedbørsfattig døgn) og den 13/12 1998 (nedbørsfattig døgn). Slamtildeling er merket med rødt. Gjennomstrømming av dreneringsvann fremgår av sort heltrukken linje.

Tabell 8. Hydrauliske data fra driften av basseng 6.

DATO PERIODE 1	BASSENG 6					
	31-1/11 R1	31-1/11 R2	2-3/11 R1	2-3/11 R2	4-6/11 R1	
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	2	2.69	2.16	2.29	1.98	
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	28.8	58.1	46.6	49.5	42.8	
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	48%	97%	78%	83%	71%	
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 12 t. (l/s)	2.05					
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )	88.4					
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	147%					
DATO PERIODE 2	11-11/12 R1	11-12/12 R2	13-14/12 R1	13-14/12 R2	16-17/12 R1	16-17/12 R2
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 6 t. (l/s)	1.88	2.17	1.86	2.02	1.87	2.29
Volum <sub>6</sub> (m <sup>3</sup> )	40.6	46.8	40.2	43.5	40.3	49.5
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	68%	78%	67%	73%	67%	82%
Gjennomstrømn. Gjennomsnitt 12 t. (l/s)	2.02	1.55	1.93	1.51	2.08	1.64
Volum <sub>12</sub> (m <sup>3</sup> )	87.4	66.8	83.8	65.2	89.9	70.8
% av tilført (60 m <sup>3</sup> )	146%	111%	139%	109%	150%	118%

Resultatene underbygger bildet av et slamvanningsanlegg med tilfredsstillende hydrauliske egenskaper.

#### 4.4 Rejektivannskvalitet

Gjennomsnittlige analyseverdier for slam og rejektivann i hele driftsperioden (alle basseng) er gitt i tabell 9. Effektene av fortynning som følge av innlekking av fremmedvann er ikke inkludert. Dersom effekten av høyeste fortynning (1 del slamvann og 1 del "fremmedvann") tas med, må verdiene for de ulike parametrene i rejektivannet multipliseres med en faktor på 2. Dette vil imidlertid gi moderate utslag på de rapporterte renseseffektene som er vist i figur 19.

Tallene viser at bassengene filtrerer slamvannet svært effektivt. Gjennomsnittlig konsentrasjon av suspendert stoff i rejektivannet var 7.4 mg/l gjennom driftsperioden. Kvaliteten på rejektivannet var meget god sammenliknet med tilsvarende fra mekaniske avvanningsanlegg.

Tilbakeholdelse av organisk stoff (målt som KOF og BOF<sub>7</sub>), totalt nitrogen (målt som Tot-N) og fosfor (målt som Tot-P og Orto-P) er også meget effektiv.

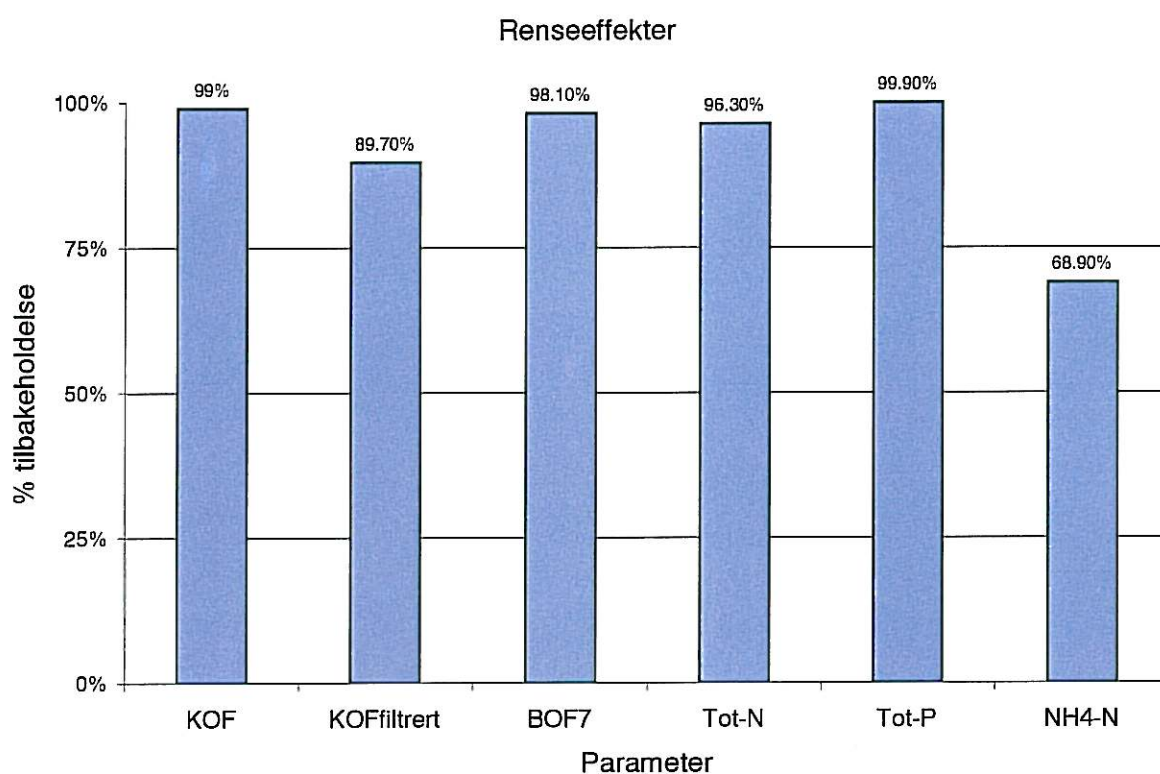
**Tabell 9.** Gjennomsnittlig tilbakeholdelse av organisk stoff, nitrogen og fosfor i slamavvanningsanlegget (alle basseng) i Tvedestrand kommune.

Parameter	Benevning	Slam				Rejektivann			
		n	snitt	max	min	n	Snitt	Max	Min
KOF	mg O/l	12	3655	8370	1370	20	38	80	30
KOF <sub>filtrert</sub>	mg O/l	16	481	820	220	8	49	85	40
BOF <sub>7</sub>	mg O/l	8	650	1350	400	8	12.5	30	10
Tot-N	mg N/l	20	184	327	108	21	6.7	14.5	2.9
Tot-P	mg N/l	20	71	131	16	20	0.05	0.06	0.05
NH <sub>4</sub> -N	mg N/l	8	7.9	13.8	2.02	8	2.5	5.7	0.04
NO <sub>3</sub> -N	mg N/l	20	0.9	4.0	0.1	24	3.2	6.2	1.6
Orto-P	mg P/l	8	0.1	0.17	0.05	8	0.05	0.17	0.05
TTS	mg/l	4	5.2	5.68	4.95				
STS	mg/l					20	7.4	14.6	5

Konsentrasjonene av ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) og nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) i slam og rejeftvann viser at:

1. Det skjer en betydelig tilbakeholdelse/omsetting av ammonium i bassengene
2. Nitrifikasjonen i renseanlegget er begrenset og i lange perioder fraværende
3. Det kan påvises en viss nitrifikasjon i filtermassen som tyder på lav belastning og ikke minst tilstedeværelse av molekylært oksygen

Gjennom driftsperioden er kvaliteten på rejeftvannet av en standard som er like god eller bedre enn utløpet fra selve renseanlegget, noe som må kunne karakteriseres som oppsiktsvekkende.



**Figur 19.** Gjennomsnittlige "renseeffekter" med hensyn på organisk stoff, nitrogen og fosfor i slamavvannings-anlegget i Tvedestrand kommune.

I figurene 20 til 25 er gjennomsnittlige analyseverdier for slam og rejeftvann fra hvert enkelt basseng vist.



## 4.4.1 Basseng 1

Parameter	Benevning	Slam				Rejektvann			
		n	snitt	max	min	N	Snitt	Max	Min
KOF	mg O/l	1	2060			3	40	50	30
KOF <sub>filtrert</sub>	mg O/l	3	443	580	220	1	50		
BOF <sub>7</sub>	mg O/l	1	490			1	10		
Tot-N	mg N/l	3	150	208	108	4	7.2	12.8	2.9
Tot-P	mg N/l	3	51	80.4	22.1	4	0.055	0.06	0.05
NH <sub>4</sub> -N	mg N/l	1	13.8			1	5.86		
NO <sub>3</sub> -N	mg N/l	3	1	1.99	0.25	4	4.02	6.21	2.19
Fosfor <sub>løst</sub>	mg P/l	1	0.17			1	0.05		
STS	mg/l					3	9.01	13.7	< 5

Figur 20. Gjennomsnittlige analyseverdier for slam og rejevtvann fra basseng 1.

## 4.4.2 Basseng 2

Parameter	Benevning	Slam				Rejektvann			
		n	Snitt	max	Min	N	Snitt	Max	Min
KOF	mg O/l	1	5540			3	38.8	50	30
KOF <sub>filtrert</sub>	mg O/l	2	350	410	290	1	40		
BOF <sub>7</sub>	mg O/l	1	590			1	10		
Tot-N	mg N/l	3	119	129	108	4	5.3	8.4	2.4
Tot-P	mg N/l	3	43.3	59.7	17.4	4	0.05	0.05	0.05
NH <sub>4</sub> -N	mg N/l	1	10.7			1	2.9		
NO <sub>3</sub> -N	mg N/l	3	0.5	0.75	0.28	5	3.2	4.8	2.4
Fosfor <sub>løst</sub>	mg P/l	1	0.11			1	0.05		
STS	mg/l					5	6.4	9.8	< 5

Figur 21. Gjennomsnittlige analyseverdier for slam og rejevtvann fra basseng 2.

## 4.4.3 Basseng 3

Parameter	Benevning	Slam				Rejektvann			
		N	Snitt	Max	Min	N	Snitt	Max	Min
KOF	mg O/l	2	2635	2970	2300	4	48.8	50	30
KOF <sub>filtrert</sub>	mg O/l	3	383	430	290	3	57.5		
BOF <sub>7</sub>	mg O/l	1	400			1	30		
Tot-N	mg N/l	3	171	245	122	4	7.7	14.5	4.95
Tot-P	mg N/l	3	56	75.7	16	4	0.062	0.1	0.05
NH <sub>4</sub> -N	mg N/l	1	10.7			1	5		
NO <sub>3</sub> -N	mg N/l	3	0.2	0.3	0.1	4	3.2	3.5	2.5
Fosfor <sub>løst</sub>	mg P/l	1	0.06			1	0.05		
STS	mg/l					4	9.5	14.6	< 5

Figur 22. Gjennomsnittlige analyseverdier for slam og rejevtvann fra basseng 3.

## 4.4.4 Basseng 4

Parameter	Benevning	Slam				Rejektvann			
		N	Snitt	Max	Min	N	Snitt	Max	Min
KOF	mg O/l	3	3233	3530	3040	3	30	30	30
KOF <sub>filtrert</sub>	mg O/l	1	570			1	30		
BOF <sub>7</sub>	mg O/l	2	685	730	640	2	10	10	10
Tot-N	mg N/l	3	202	226	171	1	3.94		
Tot-P	mg N/l	3	83	106	38.2	3	0.05	0.05	0.05
NH <sub>4</sub> -N	mg N/l	2	4.5	6.12	2.92	2	0.33	0.59	0.07
NO <sub>3</sub> -N	mg N/l	3	0.7	1.39	0.1	3	2.5	3.7	2
Fosfor <sub>løst</sub>	mg P/l	2	0.08	0.09	0.07	2	0.05	0.05	0.05
STS	mg/l					3	3.4	7.3	< 5

Figur 23. Gjennomsnittlige analyseverdier for slam og rejevtvann fra basseng 4.



## 4.4.5 Basseng 5

Parameter	Benevning	Slam				Rejektvann			
		n	Snitt	max	Min	N	Snitt	Max	Min
KOF	mg O/l	3	3143	4130	1370	3	30	30	30
KOF <sub>filtrert</sub>	mg O/l	2	510	610	410	1	30		
BOF <sub>7</sub>	mg O/l	2	500	560	440	2	10	10	10
Tot-N	mg N/l	4	183	226	147	2	5.25	6.75	3.75
Tot-P	mg N/l	4	92	131	37.3	4	0.05	0.05	0.05
NH <sub>4</sub> -N	mg N/l	2	2.5	2.92	2.02	2	0.1	0.16	0.04
NO <sub>3</sub> -N	mg N/l	4	0.6	1.53	0.2	4	2.2	2.9	1.6
Fosfor <sub>løst</sub>	mg P/l	2	0.08	0.11	0.05	2	0.05	0.05	0.05
STS	mg/l					3	4.8	5	4.41

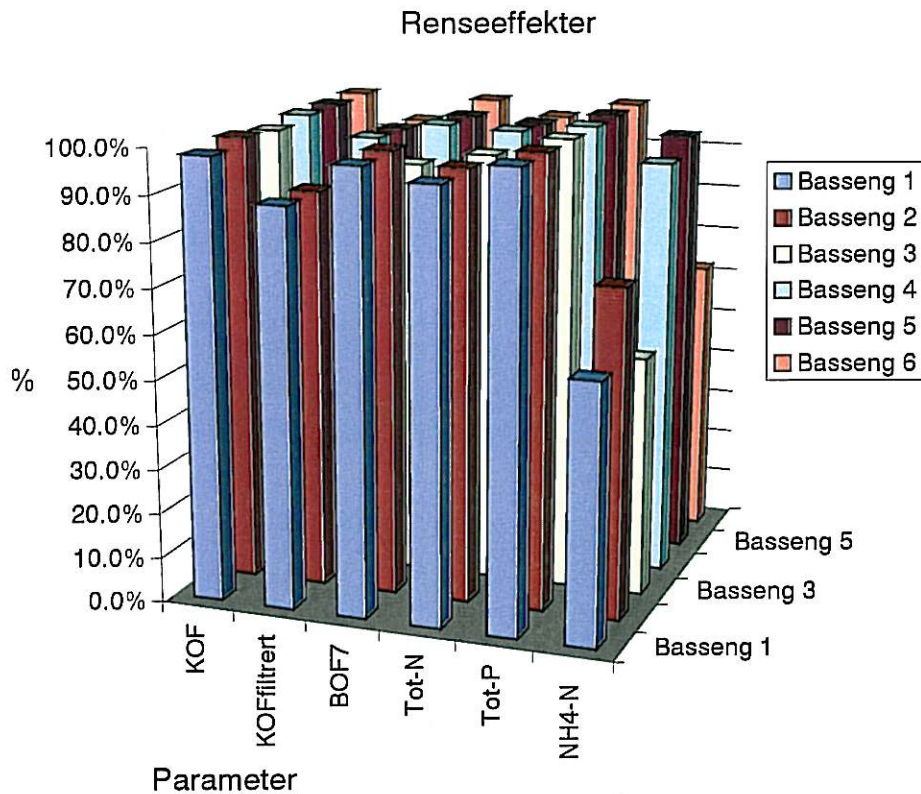
Figur 24. Gjennomsnittlige analyseverdier for slam og rejevtvann fra basseng 5.

## 4.4.6 Basseng 6

Parameter	Benevning	Slam				Rejektvann			
		n	Snitt	Max	Min	N	Snitt	Max	Min
KOF	mg O/l	2	5930	8370	3490	3	38.8	50	30
KOF <sub>filtrert</sub>	mg O/l	5	584	820	460	1	40		
BOF <sub>7</sub>	mg O/l	1	1350			1	10		
Tot-N	mg N/l	5	223	327	144	5	8.5	11.6	4.99
Tot-P	mg N/l	5	77	101	50.9	5	0.052	0.06	0.05
NH <sub>4</sub> -N	mg N/l	1	10.7			1	2.9		
NO <sub>3</sub> -N	mg N/l	5	1.8	4.03	0.1	5	3.75	4.53	2.69
Fosfor <sub>løst</sub>	mg P/l	1	0.17			1	0.05		
STS	mg/l					2	9.075	10.2	7.95

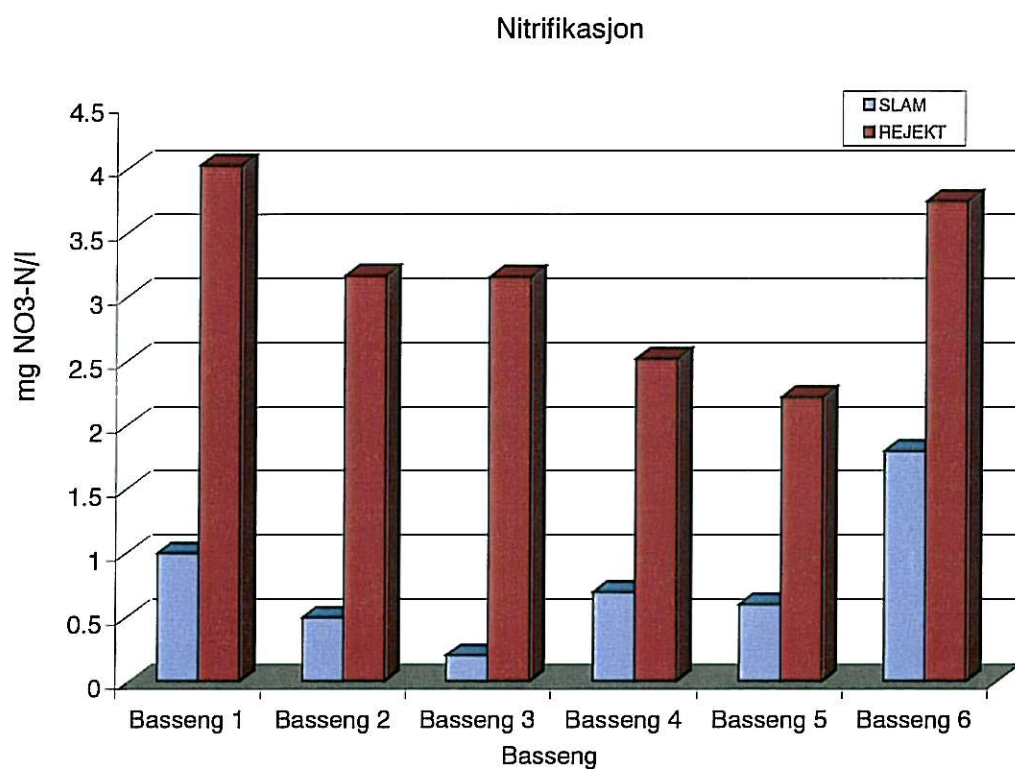
Figur 25. Gjennomsnittlige analyseverdier for slam og rejevtvann fra basseng 6.

En sammenstilling av renseresultatene for alle 6 bassengene er gitt i figur 26. De moderate effektene av fortykning som følge av innlekking av "fremmedvann" er ikke inkludert. Som det framgår er denne figuren og tallene fra hvert enkelt basseng (figur 21-25), er det små forskjeller i renseseffekter mellom bassengene m.h.p. KOF filtrert og ufiltrert, BOF<sub>7</sub>, Tot-N og Tot-P. Med hensyn på NH<sub>4</sub>-N er ble det registrert variasjoner. Dette kan reflektere forskjeller i nitrifikasjon som følge av forskjeller i tilgjengelig oksygen i de ulike filtrene.



**Figur 26.** Gjennomsnittlige rensresultater for samtlige 6 bassenger i løpet av overvåkingsperioden.

Det ble ikke registrert stabil nitrifikasjon i noen av reaktorene i rensanlegget i løpet av overvåkingsperioden. Forhøyede  $\text{NO}_3$  - verdier i rejektivannet viser at det er etablert nitrifikasjon i slamavvanningsanlegget, noe som betyr at det er tilgang på molekylær oksygen i deler av filtermassen. I figur 27 er gjennomsnittlige verdier for  $\text{NO}_3\text{-N}$  i slam og rejektivann fra hvert enkelt basseng vist.



**Figur 27.** Konsentrasjonen av NO<sub>3</sub>-N i slammet fra rensanlegget og i rejektivannet fra de ulike bassengene.