

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BREKKE

0 - 79090

HVIRVELOVERLØP

Avskilling av sedimenterbart materiale
og flytestoffer i overløpsvann

Oslo, 3. desember 1980

Saksbehandler: Siv.ing. Eivind Lygren

Medarbeider: Siv.ing. Kim Wedum

Instituttssjef: Kjell Baalsrud

NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-79090
Undernummer:
Løpenummer: 1252
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Hvirveloverløp. Avskilling av sedimenterbart materiale og flytestoffer i overløpsvann. VA-13/80	Dato: 3.12.1980
	Prosjektnummer: 0-79090
Forfatter(e): Eivind Lygren	Faggruppe: SEKVAT
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag): 51

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


Ekstrakt: En forsøksenhet dimensjonert for en hydraulisk belastning på 16,7 l/s er prøvet ut under kontrollerte betingelser mens en fullskala enhet dimensjonert for en hydraulisk belastning på 150 l/s er fulgt opp med henblikk på rensefunksjon og driftsproblemer.
--

4 emneord, norske:
1. Hvirveloverløp
2. Rensing
3. Overløpsvann
4. Sedimenterbart material flytestoffer

4 emneord, engelske:
1. Swirl
2.
3.
4.


Eivind Lygren
Prosjektleders sign.:


Arild Schanke Eikum
Seksjonsleders sign.:


Kjell Baalsrud
Instituttssjefs sign.:

ISBN 82-577-0334-6

F O R O R D

Det er et økende behov for å fremskaffe norsk erfaring med enkle renseprosesser for overløpsvann fra kommunale avløpsnett.

Statens forurensningstilsyn (SFT) har derfor for 1980 bevilget kr. 150 000 til Norsk institutt for vannforskning (NIVA) for utprøving av hvirveloverløp.

Det er i tillegg bevilget kr. 170 000 til Halden kommune for å bygge et fullskala hvirveloverløp i en bekkelukning.

En forsøksenhet er utprøvet på NIVA's anlegg på Kjeller samtidig som fullskala anlegget i Halden er fulgt opp med hensyn til driftsproblemer og rensefunksjon.

Vi vil rette en takk til avdelingsingeniør Leif Brattested i Halden kommune for velvillig bistand under arbeidet. Vi vil også rette en takk til avdelingsingeniør Jostein Skjefstad, overingeniør Olle Morten Grini og sjefingeniør Oddvar Lindholm i SFT.

Oslo, 3. desember 1980

Eivind Lygren
Eivind Lygren

I N N H O L D

	Side:
FORORD	2
SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	6
1. INNLEDNING	8
2. PROSESSBESKRIVELSE	10
3. RENSERESULTATER FRA FORSØK PÅ KJELLER	13
4. OPPFØLGING AV FULLSKALA ENHET I HALDEN	22
4.1 Beskrivelse av overløpet med kostnadsoverslag	22
4.2 Driftserfaringer og renseresultater	28
5. VEILEDNING FOR INSTALLASJON, BYGGING OG DRIFT AV HVIRVELOVERLØP	31
5.1 Installasjon	31
5.2 Bygging	33
5.3 Drift	38
6. LITTERATUR	40
APPENDIKS A: Forsøksopplegg på Kjeller	42
APPENDIKS B: Analyseopplegg	44
APPENDIKS C: Resultater fra forsøkene på Kjeller på tabellform	47

- 0 -

T A B E L L E R

Tabell nr.:

1. Resultater fra noen forsøkskjøringer med hvirveloverløp ved Kjeller	7
2. Kostnader for overløp i Halden	27
3. Renseresultater fra overløpet i Halden	30
4. Innhold av partikler fraksjonert etter sedimenteringshastighet ---	30
5. Dimensjonerende data tilpasset standard kumring størrelser ---	34
6. Vannføringsdata	47

Tabell nr.:		Side:
7.	Konsentrasjon av sedimenterbart materiale	48
8.	Konsentrasjon av suspendert stoff, fosfor og kjemisk oksygenforbruk	49
9.	Partikkelfordeling etter sedimenteringshastighet	50
10.	Partikkelfordeling etter partikkelstørrelse	51

F I G U R E R

Figur nr.:		
1.	Hvirveloverløp. Prinsippskisse	10
2.	Typisk hastighetsprofil i overløpskammeret	11
3.	Hvirveloverløp uten overløpsarrangement	11
4.	Prosentvis reduksjon i konsentrasjon av suspendert materiale som funksjon av innløpsvannføring ---	14
5.	Prosentvis reduksjon i konsentrasjon av flyktig suspendert stoff som funksjon av innløpsvannføring ---	14
6.	Prosentvis reduksjon i konsentrasjon av sedimenterbart materiale som funksjon av innløpsvannføring ---	15
7.	Prosentvis reduksjon i konsentrasjon av suspendert stoff som funksjon av innholdet av suspendert stoff for ulike innløpsvannføringer	15
8.	Prosentvis reduksjon i massetransport av sedimenterbart stoff som funksjon av videreført vannmengde ---	16
9.	Prosentvis reduksjon i massetransport av suspendert stoff som funksjon av videreført vannmengde ---	17
10.	Rensefunksjon for ulike partikkelfraksjoner målt etter sedimenteringshastighet (5-7 l/s)	18
11.	Rensefunksjon for ulike partikkelfraksjoner målt etter sedimenteringshastighet (12-15 l/s)	18
12.	Rensefunksjon for ulike partikkelfraksjoner målt etter sedimenteringshastighet (19-24 l/s)	19
13.	Rensefunksjon for ulike partikkelfraksjoner målt etter partikkelstørrelse	20
14.	Rensefunksjon for ulike uorganiske partikkelfraksjoner målt etter partikkelstørrelse	20

Figur nr.:	Side:	
15.	Rensefunksjon for ulike organiske partikkel- fraksjoner målt etter partikkelstørrelse	21
16.	Effektivitet m.h.t. avskilling av flytestoffer	21
17.	Overløpsbasseng med sentral overløpsenhet	23
18.	Sentral overløpsenhet	23
19.	Overløpskammer med innløpskanal, tørrværsrenner og nødoverløp	24
20.	Overløp under bygging	25
21.	Nærbilde av sentraloverløps-enhet	25
22.	Innløp med terskel, ledeskjerm og tørrværsrenne	26
23.	Overløp i drift	26
24.	Vannførings-/varighets- kurve for Remmenbekken	28
25.	Eksempel på installasjoner av hvirveloverløp	32
26.	Eksempel på 2 ytterlig-gående typer av vannføringskurver i fellessystem	33
27.	Flytestoffavdrag i funksjon ved lav belastning når nedføringsrør munner ut på overløpsplaten	35
28.	Anbefalt utforming av utløps- arrangement med utløpsdyse	37
29.	Tre typer vannførings-regulatorer som kan benyttes i hvirveloverløp	39
30.	Forsøksenhet	43
31.	Overløpsarrangement i rustfritt stål og PVC	43
32.	Manuell splittprøvetaker for utløpsvann	43
33.	Imhoffbeger	45
34.	Sedimenteringskolonner	45
35.	Eksempel på resultater fra sedimenteringsforsøk	45
36.	Glødeskåler i forbindelse med separasjon etter partikkelstørrelse	45

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Hvirveloverløp er en overløpsenhet utformet for å avskille flytestoffer og sedimenterbart materiale i overløpsvann.

En forsøksenhet dimensjonert for en hydraulisk belastning på 16,7 l/s er utprøvet ved NIVA's forsøksstasjon på Kjeller, mens en fullskala enhet bygget i Halden og dimensjonert for en hydraulisk belastning på 150 l/s er fulgt opp med henblikk på driftsproblemer og rensefunksjon.

Undersøkelsen har relativt klart vist at hvirveloverløpet fungerer etter hensikten idet den fjerner det meste av flytestoffene og en betydelig del av sedimenterbart materiale i overløpsvannet. Særlig stor renseseffekt oppnås naturlig nok på de lett sedimenterbare partikler med en sedimenteringshastighet på over 10 cm/min. Disse er vanligvis svært skjemmende i et overløpsutslipp idet de ofte sedimenterer i umiddelbar nærhet av utslippspunktet og former slambanker som gir luktproblemer etc.

I tabell 1 er det vist noen av renseresultatene oppnådd under forsøkene på Kjeller. Renseeffekten holder seg stort sett bra opp til dimensjonerende vannføring på 16,7 l/s, men faller så raskt når belastningen økes utover dette.

Med grunnlag i driftserfaringene fra Halden vil vi anta at nødvendig inspeksjons-hyppighet vil variere mellom én uke og én måned, avhengig av overløpets størrelse og detaljerte utforming, årstid etc.

På grunnlag av erfaringene i Halden er det også foreslått noen konstruksjonsmessige endringer på overløp som bygges i fremtiden. Det er også lagt vekt på å få frem konstruksjonsmessige detaljer der det ut fra en driftsmessig og renseteknisk synsvinkel må legges stor vekt på en hensiktsmessig utforming.

Tabell 1. Resultater fra noen forsøkskjøringer med hvirveloverløp ved NIVAs stasjon på Kjeller. Hver kjøring gikk over 5-10 minutter. Vannføringen under hver kjøring ble holdt tilnærmet konstant, og blandprøve ble tatt.

Vannføring		Suspendert stoff			Sedimentert stoff (1 time i Imhofbeget)		
Innløp l/s	Overløp l/s	Innløp mg/l	Overløp mg/l	Rensegrad %	Innløp mg/l	Overløp mg/l	Rensegrad %
3.50	2.50	428.	207.	52	408	96	77
14.58	13.58	817.	531.	35	479	234	51
10.50	9.50	301.	177.	41	222	96	57
6.67	5.67	676.	326.	52	810	248	69
18.64	16.14	1263.	1080.	15	1031	697	32
6.66	4.56	429.	237.	45	319	124	61
3.71	1.71	250.	166.	34	197	55	72
12.36	10.21	334.	233.	30	280	123	56
12.25	9.25	1104.	382.	65	813	179	78
6.95	5.95	303.	187.	38	123	27	78
6.96	5.96	718.	484.	33	552	249	55
5.09	2.95	794.	491.	38	474	252	47
3.58	2.58	459.	183.	60	248	63	75
14.62	13.62	688.	388.	44	882	394	55
19.84	18.64				450	195	57
19.65	18.45	942.	774.	18	758	537	29
24.14	22.89	534.	516.	3	397	376	5
5.40	4.20	539.	398.	26	351	233	34
6.19	4.19	670.	498.	26	351	235	33
6.21	3.48	732.	304.	58	321	171	47
13.82	11.09	817.	548.	33	713	359	50
6.34	5.27	398.	299.	25	244	162	34
12.34	10.34	1420.	506.	64	1003	329	67

1. INNLEDNING

Kommunale renseanlegg er som regel ikke dimensjonert for å behandle de vannmengder som oppstår i et fellessystem under regnvær.

Undersøkelser gjort ved NIVA viser at det finnes 1200-1300 overløp i avløpsnett tilknyttet kommunale renseanlegg her i landet. Dette tallet vil trolig øke betydelig etter som det bygges flere renseanlegg. Med denne bakgrunn er NIVA i ferd med å opparbeide praktisk kompetanse på aktuelle renseprosesser for overløpsvann. Arbeidet utført i 1980 har vært konsentrert om å prøve ut hvirveloverløp for dette formål.

Hvirveloverløp er en overløpsenhet utformet for å avskille flytestoffer og sedimenterbart materiale i overløpsvann. Vanligvis installeres overløpet slik at overløpsvannet ledes til resipient mens det avskilte stoff sammen med 5-15 prosent av dimensjonerende vannføring ledes videre til renseanlegg. Overløpet kan enten plasseres ute på nettet for å avlaste nedstrøms ledningssystem, pumpestasjon etc., eller det kan installeres i forbindelse med renseanlegg for å bedre drift og rensefunksjon på anlegget.

I tillegg til å undersøke hvilken rensegrad som kan oppnås med denne overløpstypen, er det lagt stor vekt på å undersøke hvilke driftsproblemer som kan oppstå, og hvilket tilsyn som er nødvendig. For å oppnå dette ble det bygget en forsøksenhet som ble utprøvet på Kjeller samtidig som vi undersøkte driften av en fullskala enhet ved Remmen bro i Halden.

Enheten på Kjeller var dimensjonert for 16,7 l/s og ble testet på vanlig kommunalt avløpsvann tilsatt varierende mengder av sedimentert materiale på råkloakk og/eller partikulært materiale fra snø tatt i et trafikkpåvirket område.

Overløpet i Halden er plassert i en bekkelukning som mottar avløpsvann fra ca. 150 husstander. Rett nedenfor overløpet munner bekkelukningen ut i en større åpen bekk/elv som renner gjennom tettbebyggelse. Det har tidligere vært klager fra beboere over at denne bekken ble tilgriset med flytestoffer og organisk materiale som gav luktproblemer. Det ville koste kommunen anslagsvis 3 mill. kroner å bygge en avskjærende ledning for de 150 husstander som dette gjaldt.

Legging av en avskjærende ledning ville også medføre en rekke praktiske vansker, så som oppgraving av folks hager etc. Halden kommune tok derfor kontakt med NIVA med en forespørsel om et hvirveloverløp kunne løse oppgaven. Vi valgte å støtte en søknad til Miljøverndepartementet om midler til bygging av et hvirveloverløp ved Remmen bro. Dette er det første fullskala hvirveloverløp som er blitt bygget her i landet, og det vil gi verdifulle driftserfaringer før eventuelt andre anlegg bygges.

2. PROSESSBESKRIVELSE

Vi kjenner to hovedtyper av hvirveloverløp. Den ene er utviklet i England (1), mens den andre, som også benevnes SWIRL, er konstruert i USA av Environmental Protection Agency, EPA (2) (3). Vi har valgt å gjøre forsøk med den amerikanske utgaven.

Hvirveloverløpet består av en sirkulær beholder, som vist i fig. 1. Vannet ledes inn i overløpskammeret tangentielt langs bunnen av beholderen og går i overløp over en sirkulær overløpsterskel. Avskilling av sedimenterbart materiale skjer ved at det oppstår sekundærstrømmer, som vist i snitt C-C. Sekundærstrømmene sammen med et typisk hastighetsprofil, som vist i fig. 2, gjør at partikulært materiale sedimenterer i den rolige sonen under overløpsplaten. Dette er vist nærmere i fig. 3 der en forsøksenhet uten overløps-arrangement er vist ovenfra. Overløpet hadde vært i drift en tid før vannet ble tappet rolig av og overløpsplaten fjernet.

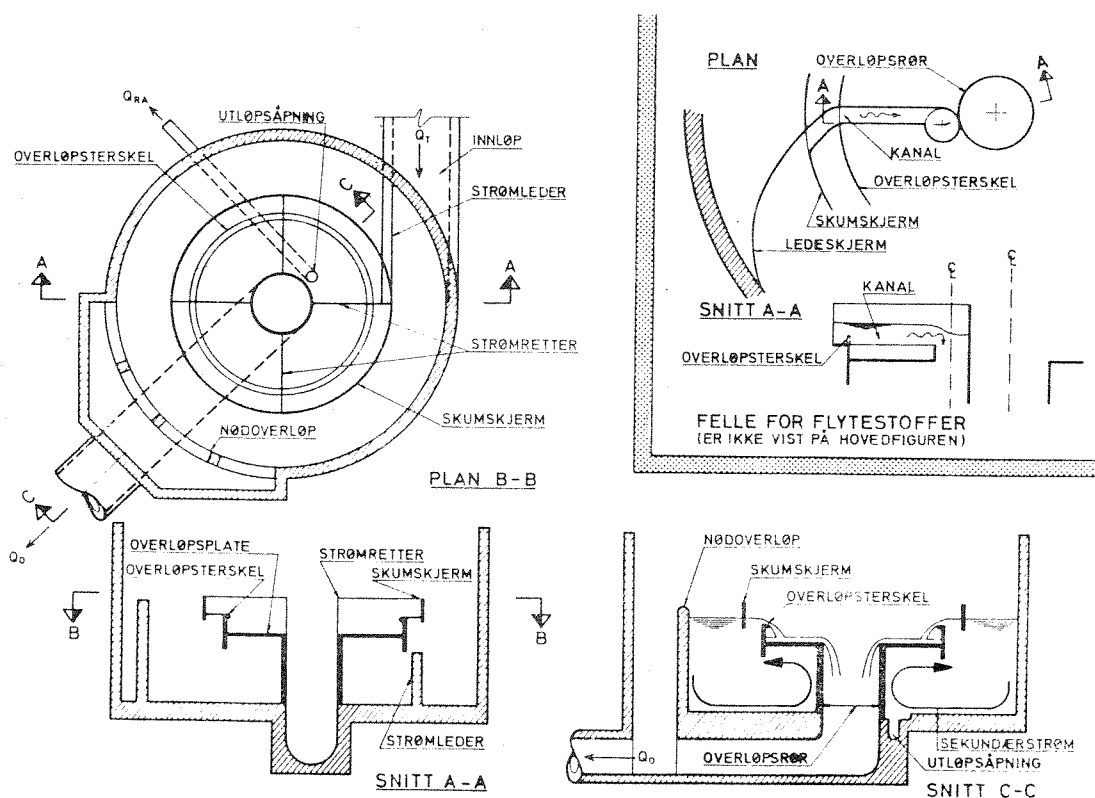
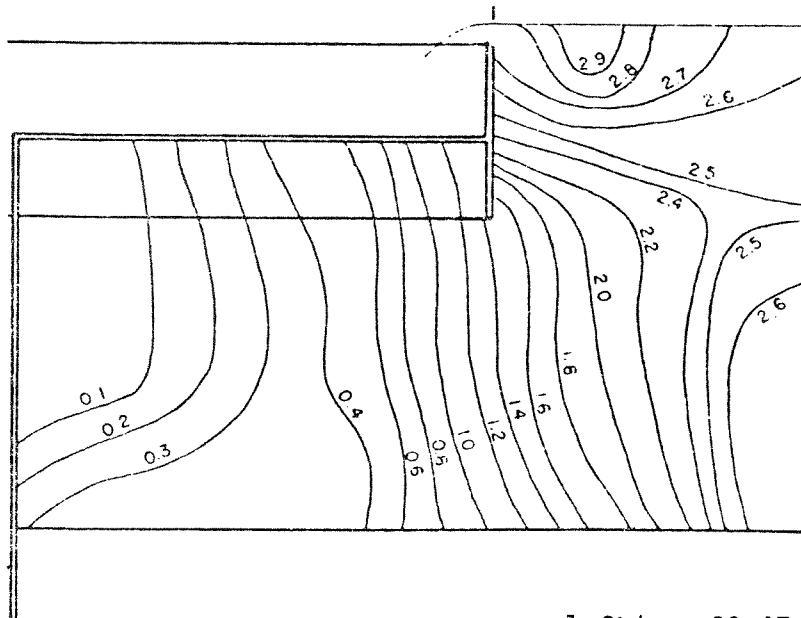


Fig. 1. Hvirveloverløp. Prinsippskisse. (4).



1 ft/s = 30,47 cm/s.

Fig. 2. Typisk hastighetsprofil i overløpskammeret. Tallene angir horisontal hastighet i ft/ s. (2).

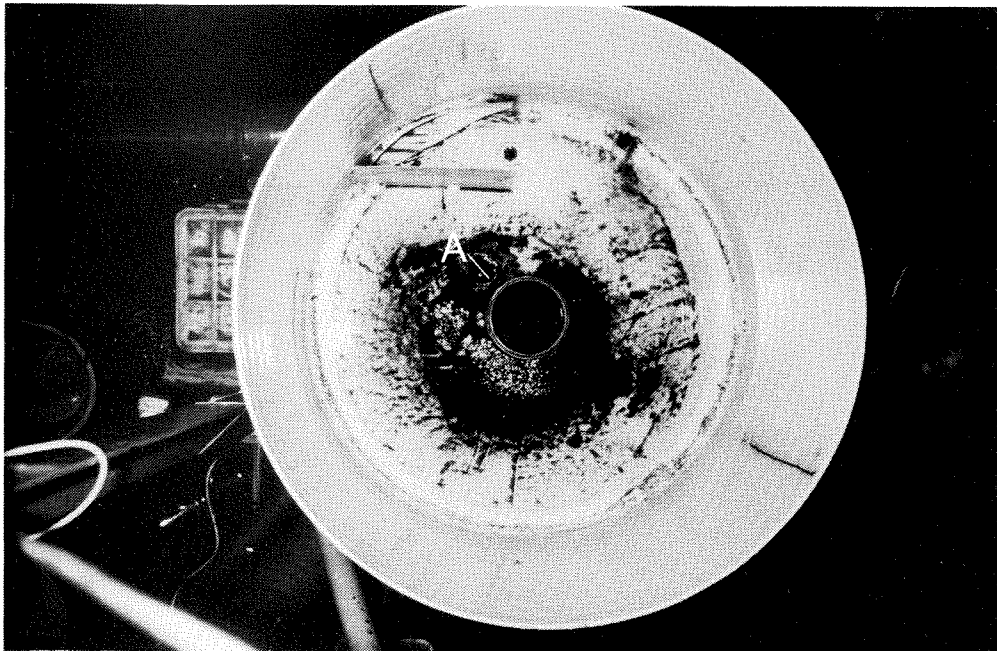


Fig. 3. Hvirveloverløp uten overløpsarrangement, sett ovenfra (forsøksenhet med diameter 1,15 m).

Det oppkonsentrerte vannet eller slammet ledes ut gjennom et rør i bunnen av overløpskammeret under overløpsplaten (merket A i fig. 3). Dette vannet ledes normalt videre til renseanlegg, og avtrukket vannmengde innstilles normalt på 5-15 prosent av dimensjonerende vannføring for overløpet.

Flytestoffer avskilles ved hjelp av en ledeskjerm og en skumskjerm, som vist øverst til høyre i fig. 1. Flytestoffene blir trukket ned gjennom overløpsplaten ved hjelp av et rør tett inn til overløpsrøret. Røret plasseres umiddelbart over avtrekksrøret for vann til renseanlegget (merket A, fig. 3) og kan enten føres helt ned mot avtrekksrøret eller avsluttes ved underkant av overløpsplaten.

3. RENSERESULTATER FRA FORSØK PÅ KJELLER

En forsøksenhet dimensjonert for en vannføring på 16,7 l/s er utprøvet ved NIVA's anlegg på Kjeller. Det ble benyttet ordinær råkloakk tilsatt ulike mengder vegstøv og sedimentert materiale fra råkloakk for å simulere forholdene i et fellessystem under flom. Se for øvrig appendiks A og B for en nærmere beskrivelse av forsøksopplegg og analyseopplegg. I appendiks C er videre vist alle analyseresultater fra forsøkene på Kjeller i tabellform.

Det er flere forhold som påvirker hvirveloverløpets rensesfunksjon.

Dette kan f.eks. være

- Hydraulisk belastning på enheten
- vannmengde som ledes videre til rensesanlegg
- konsentrasjon og partikkelfordeling av sedimenterbart materiale i innløpsvannet
- innholdet av flytestoffer.

I fig. 4, 5 og 6 er det vist rensegrad av suspendert, flyktig suspendert og sedimenterbart stoff som funksjon av vannføring for ulike stoff-konsentrasjoner i innløpsvannet. Rensegraden holder seg som vi ser, nokså konstant opp til dimensjonerende vannføring, men faller så raskt når denne vannføringen overskrides. Rensegraden ligger ofte mellom 30 og 60 prosent med henblikk på suspendert og flyktig suspendert materiale, og 40-80 prosent med henblikk på sedimenterbart materiale. Årsaken til de gode rensesresultatene er som vi senere skal se, at vannet inneholder mye grovt og relativt lett sedimenterbart materiale. Dette er imidlertid ofte tilfellet i et fellessystem under flom på grunn av tilførselen av uorganisk materiale fra overflaten og utspyling av bunnavsatt materiale i ledningen. Resultatene er for øvrig i god overensstemmelse med nylig utførte forsøk med overløpsvann i USA hvor enheten var plassert ute på nettet i et fellessystem (3).

I fig. 7 er det vist rensegrad som funksjon av innholdet av suspendert stoff i innløpet for ulike vannføringer. Rensegraden er naturlig nok til en viss grad avhengig av konsentrasjonen av suspendert stoff i innløpet, da høye konsentrasjoner som regel inneholder forholdsvis mer sedimenterbart materiale enn lave konsentrasjoner. Dette er også i overensstemmelse med hva man har funnet i amerikanske forsøk (5).

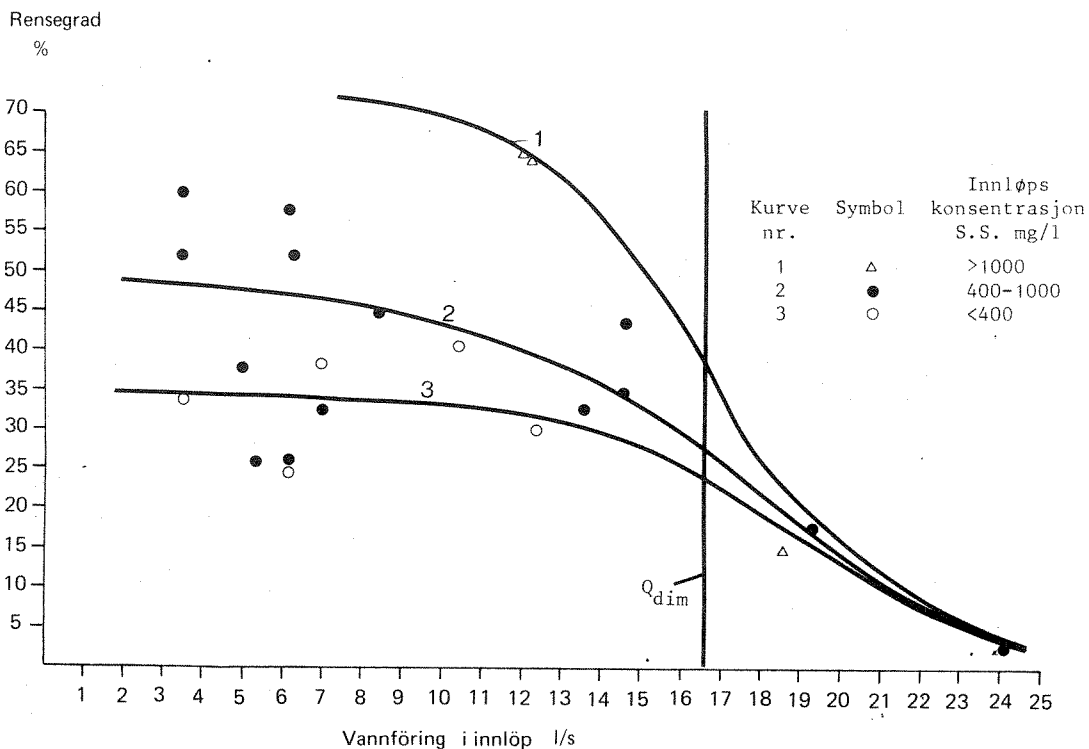


Fig. 4. Prosentvis reduksjon i konsentrasjon av suspendert materiale som funksjon av innløpsvannføring for ulike innløpskonsentrasjoner (kurvene er bare omtrentlige).

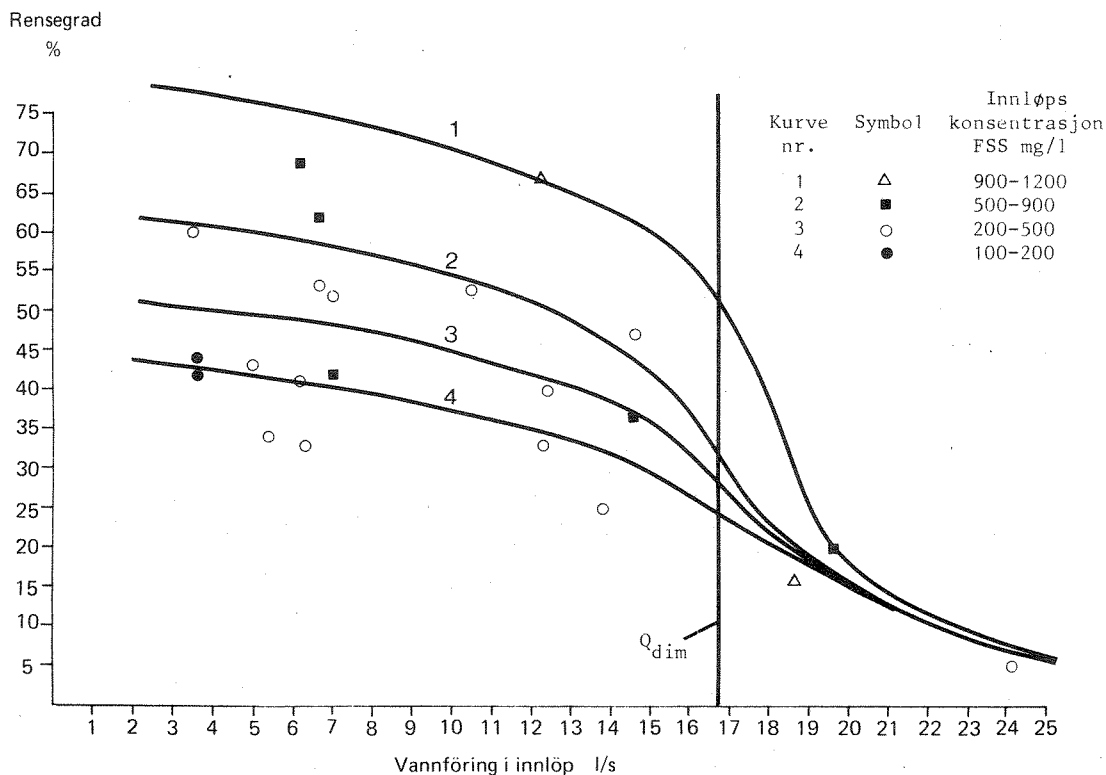


Fig. 5. Prosentvis reduksjon i konsentrasjon av flyktig suspendert materiale som funksjon av innløpsvannføring for ulike innløpskonsentrasjoner (kurvene er bare omtrentlige).

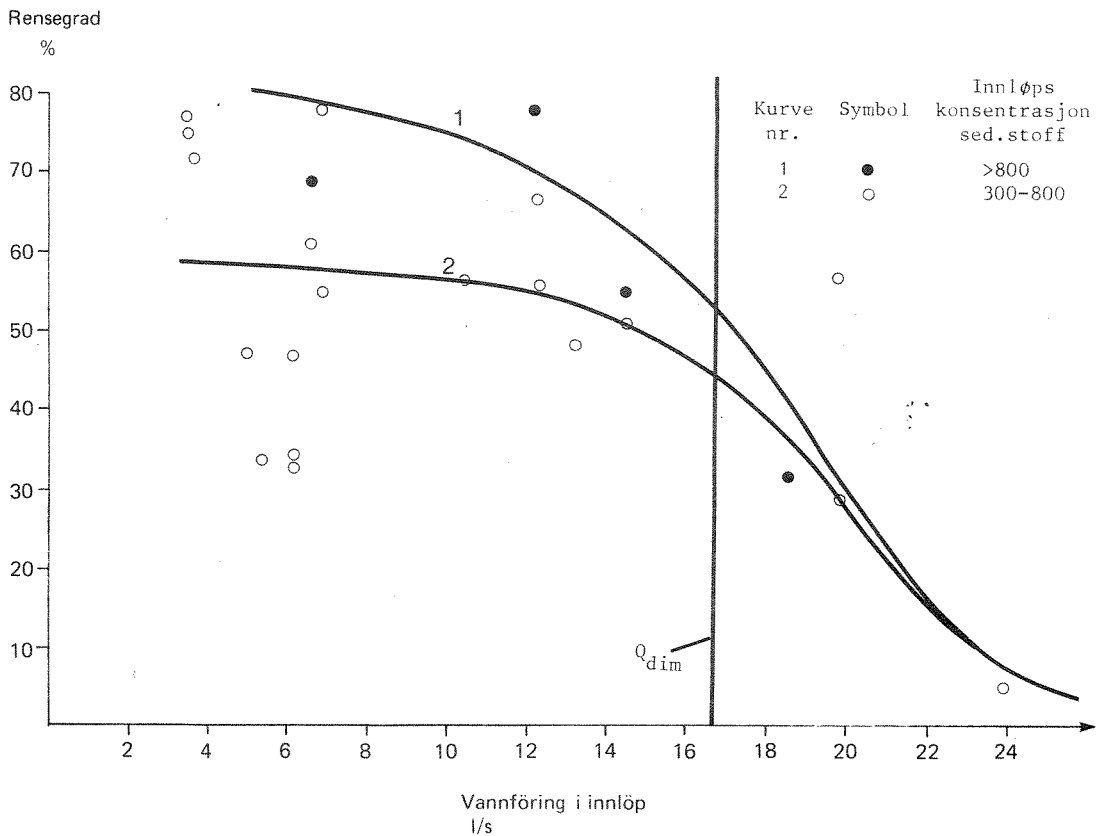


Fig. 6. Prosentvis reduksjon i konsentrasjon av sedimenterbart materiale (1 time i Imhoff beger) som funksjon av innløpsvannføring for ulike innløpskonsentrasjoner (kurvene er bare omtrentlige).

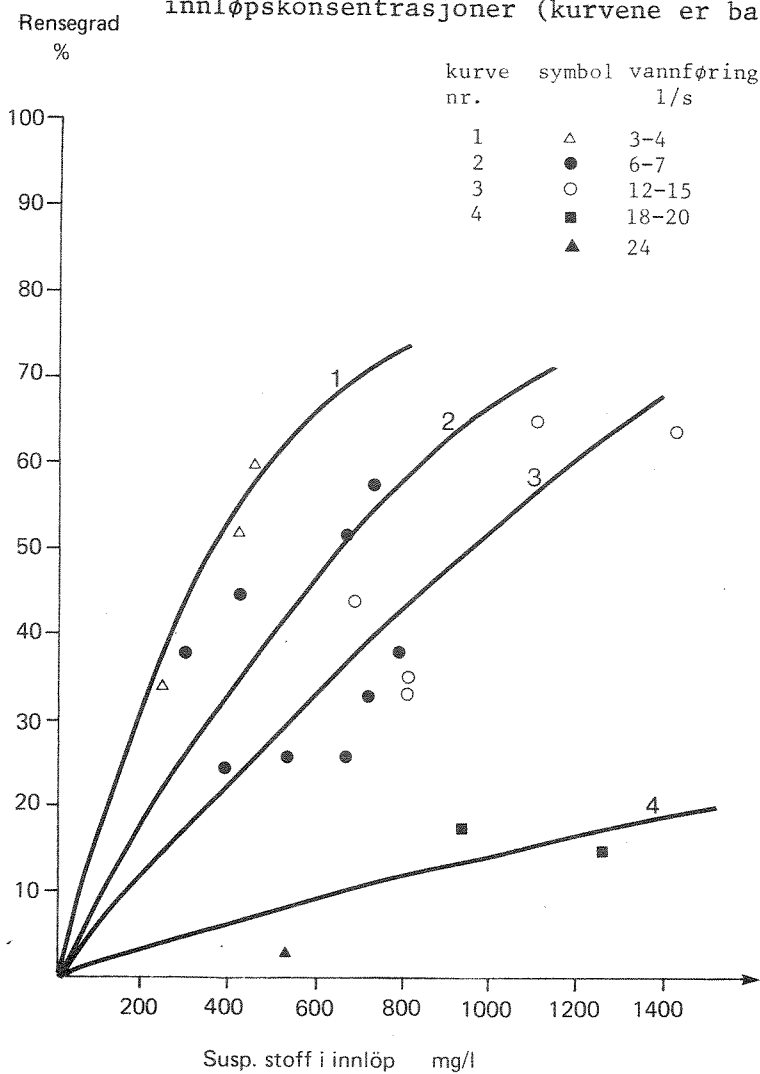


Fig. 7. Prosentvis reduksjon i konsentrasjon av suspendert stoff som funksjon av innholdet av suspendert stoff for ulike innløpsvannføringer (kurvene er bare omtrentlige).

Vannmengde som ledes videre til rensanlegg (vannføring i utløp), synes å ha mindre å si for enhetens rensfunksjon idet man raskt når en terskelverdi. Fortsatt økning i videreført vannmengde fører bare til en liten økning i massetransport til rensanlegg fordi selve vannmengden i overløp reduseres. Konsentrasjonen i overløpsvannet synes altså ikke å påvirkes noe særlig av hvor mye som videreføres. Dette er vist nærmere i fig. 8 og 9, hvor rensgrad med henblikk på massetransport av henholdsvis sedimenterbart og suspendert stoff er vist som funksjon av videreført vannmengde. Etter dette skulle det være tilstrekkelig å videreføre 5-10 prosent av dimensjonerende vannføring inn på enheten. Det som vil avgjøre hvor mye vann som skal videreføres, vil hovedsakelig være hvor mye vann som toleres for god drift av nedstrøms rensanlegg, og eventuelle gjentettingsproblemer i utløpet ved at dette strupes for mye ned. Dette vil bli behandlet nærmere i kapittelet om driftserfaringer.

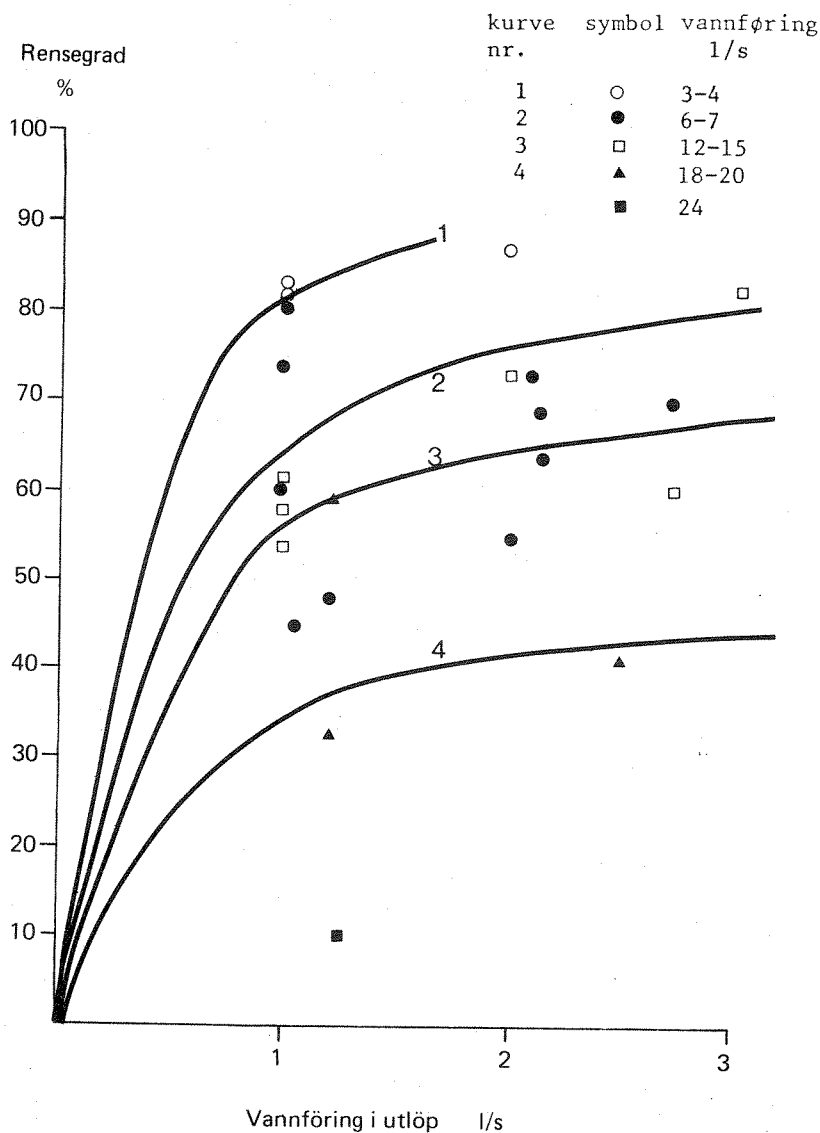


Fig. 8. Prosentvis reduksjon i massetransport av sedimenterbart stoff som funksjon av videreført vannmengde for ulike innløpsvannføringer (kurvene er omtrentlige).

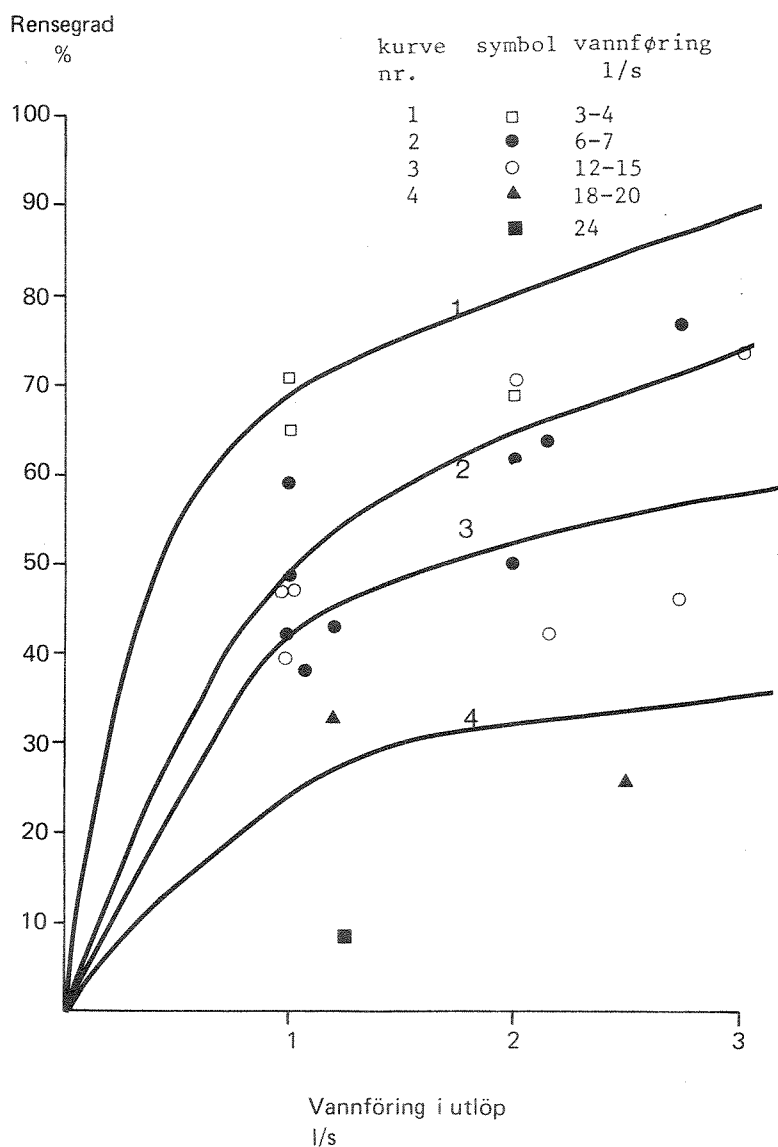


Fig. 9. Prosentvis reduksjon i massetransport av suspendert stoff som funksjon av videreført vannmengde for ulike innløpsvannføringer (kurvene er omtrentlige).

I fig. 10-12 er det vist hvordan hvirveloverløpet avskiller ulike partikkel-fraksjoner målt etter den sedimenteringshastighet de ulike fraksjonene har. Vi ser at når enheten ikke belastes over dimensjonerende vannføring, synker avskillingsgraden relativt jevnt fra 70-95 prosent for partikler med en sedimenteringshastighet på ca. 120 cm/min til 5-20 prosent for partikler med en sedimenteringshastighet på ca. 6 cm/min. Kurvene flater så ut og holder seg konstant på 5-15 prosent for de lettere fraksjoner. Når enheten overbelastes, skjer det en tilsvarende reduksjon i rensesgrad for de ulike fraksjoner, men man må belaste enheten helt opp til 24 l/s for at avskilling av partikler med en synkehastighet på 120 cm/min skal reduseres i særlig grad.

Ved å sammenholde disse kurvene med konsentrasjonsverdien og andel uorganisk stoff i de ulike innløpsfraksjoner, finner vi videre en relativt klar tendens til at:

- høy konsentrasjon av en fraksjon gir høyere prosentvis rensegrad enn en lav konsentrasjon.
- sandpartikler med stor tetthet avskilles lettere enn større organiske partikler med samme sedimenteringsegenskaper.

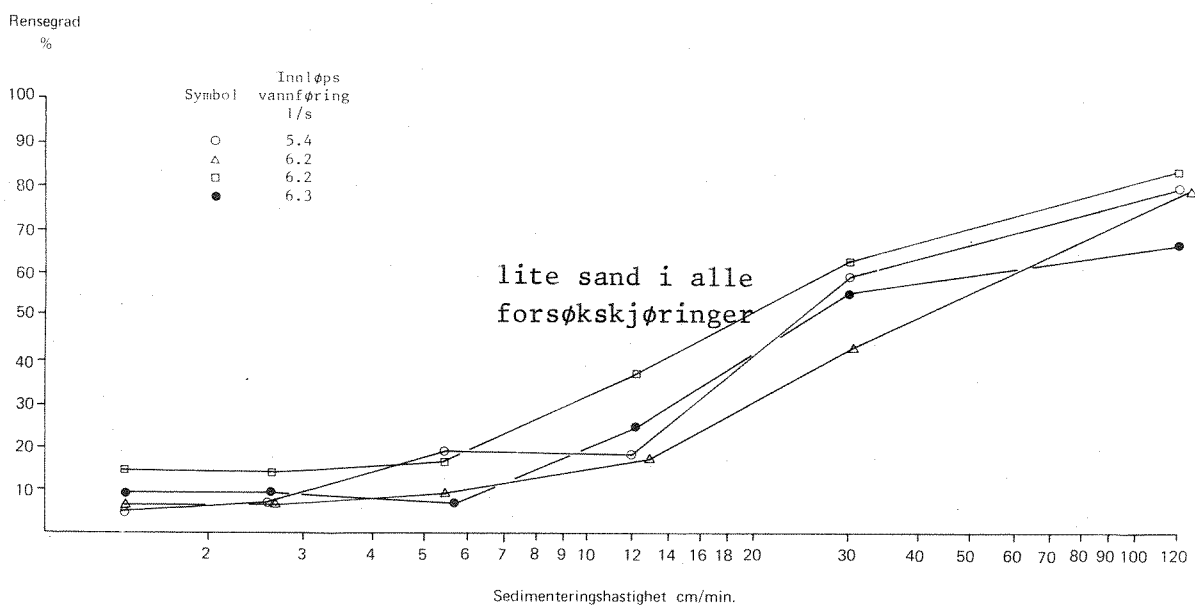


Fig. 10. Rensefunksjon for ulike partikkelfraksjoner målt etter sedimenteringshastighet (5-7 l/s).

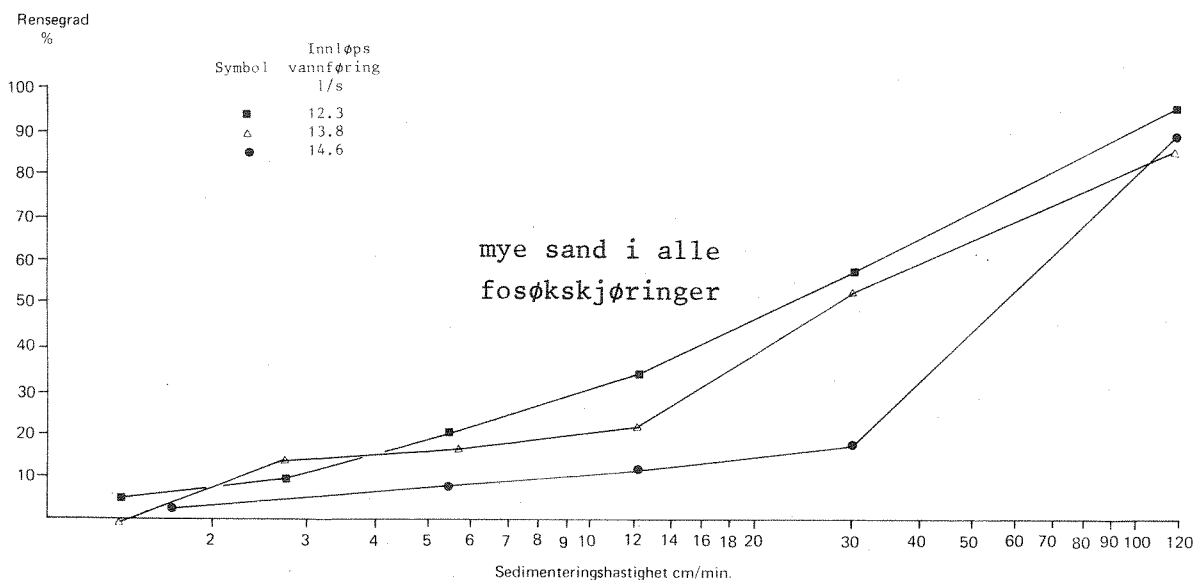


Fig. 11. Rensefunksjon for ulike partikkelfraksjoner målt etter sedimenteringshastighet (12-15 l/s).

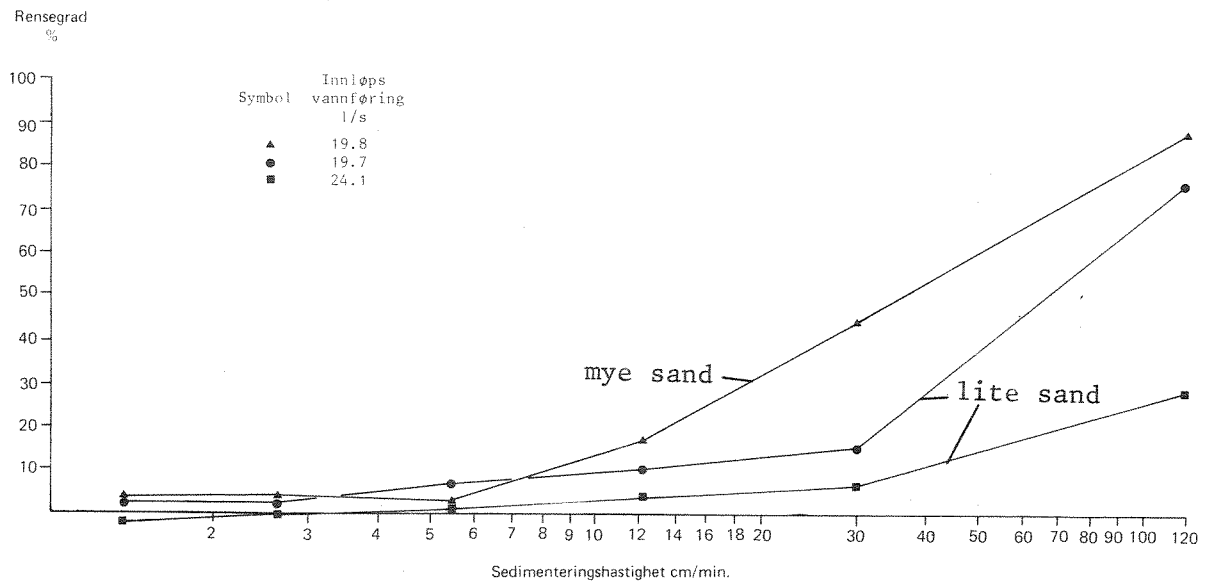


Fig. 12. Rensefunksjon for ulike partikkelfraksjoner målt etter sedimenteringshastighet (19-24 l/s).

I fig. 13 er det vist rensesgrad med henblikk på partikulært stoff målt etter partikkelstørrelse (se analyse med opplegg i tilknytning til fig.36 i appendiks B. Det er relativt stor spredning på kurvene, avhengig av slike ting som:

- andel uorganisk (sand) i fraksjonen
- hydraulisk belastning
- innløpskonsentrasjonen i ulike fraksjoner.

I fig. 14 og 15 er det tilsvarende vist rensesgrad med henblikk på henholdsvis uorganisk og organisk fraksjon. Kurvene i fig. 14 representerer to kjøringar hvor det ble tilsatt vegstøv kunstig, og hvor det altså var relativt høye sandkonsentrasjoner i størrelsesområdet 0,01 - 1,0 mm.

Avskillings-effektivitet med hensyn til flytestoffer kan best beskrives ved hjelp av et bilde. Som vi ser av fig. 16, avskilles trolig over 90 prosent av flytestoffene når enheten ikke er overbelastet.

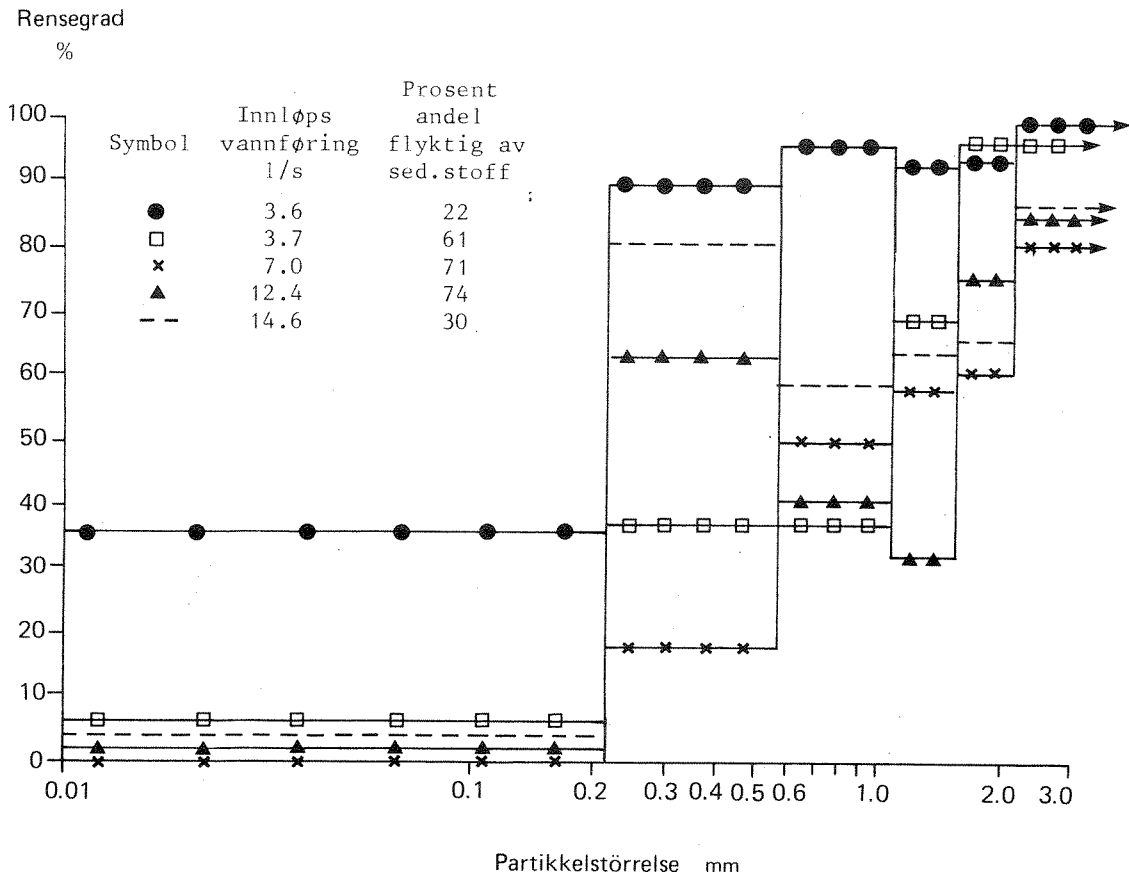


Fig. 13. Rensefunksjon for ulike partikkelfraksjoner målt etter partikkelstørrelse.

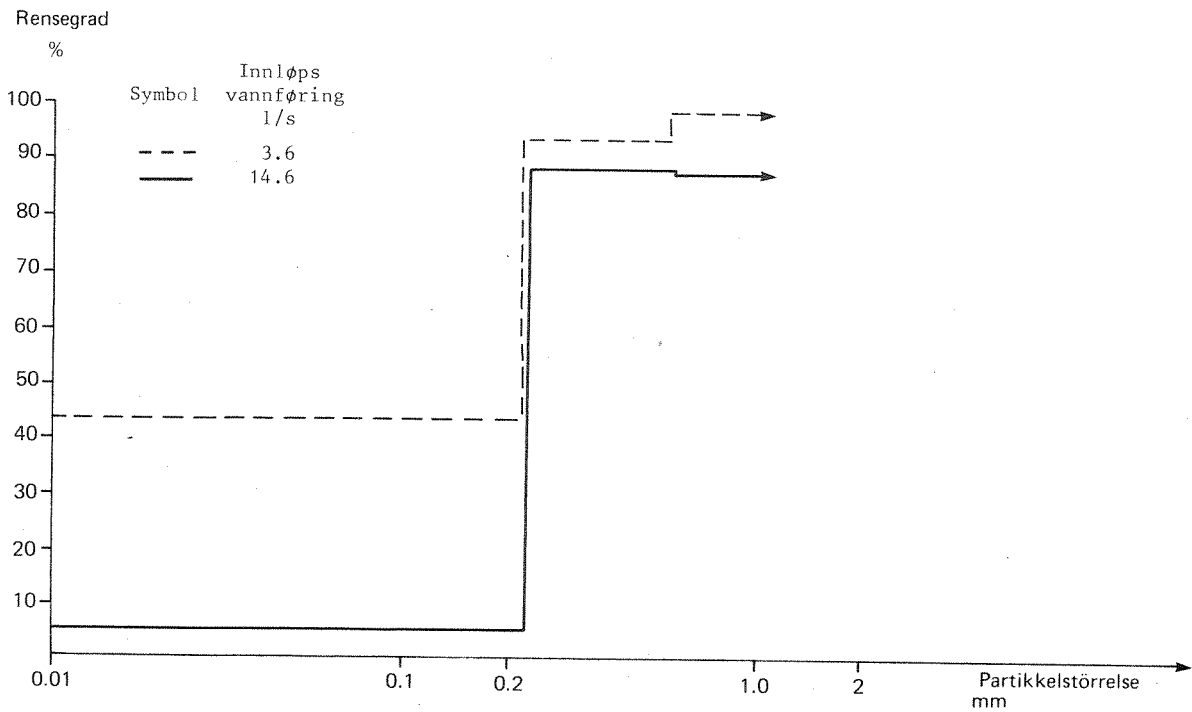


Fig. 14. Rensefunksjon for ulike uorganiske partikkelfraksjoner målt etter partikkelstørrelse.

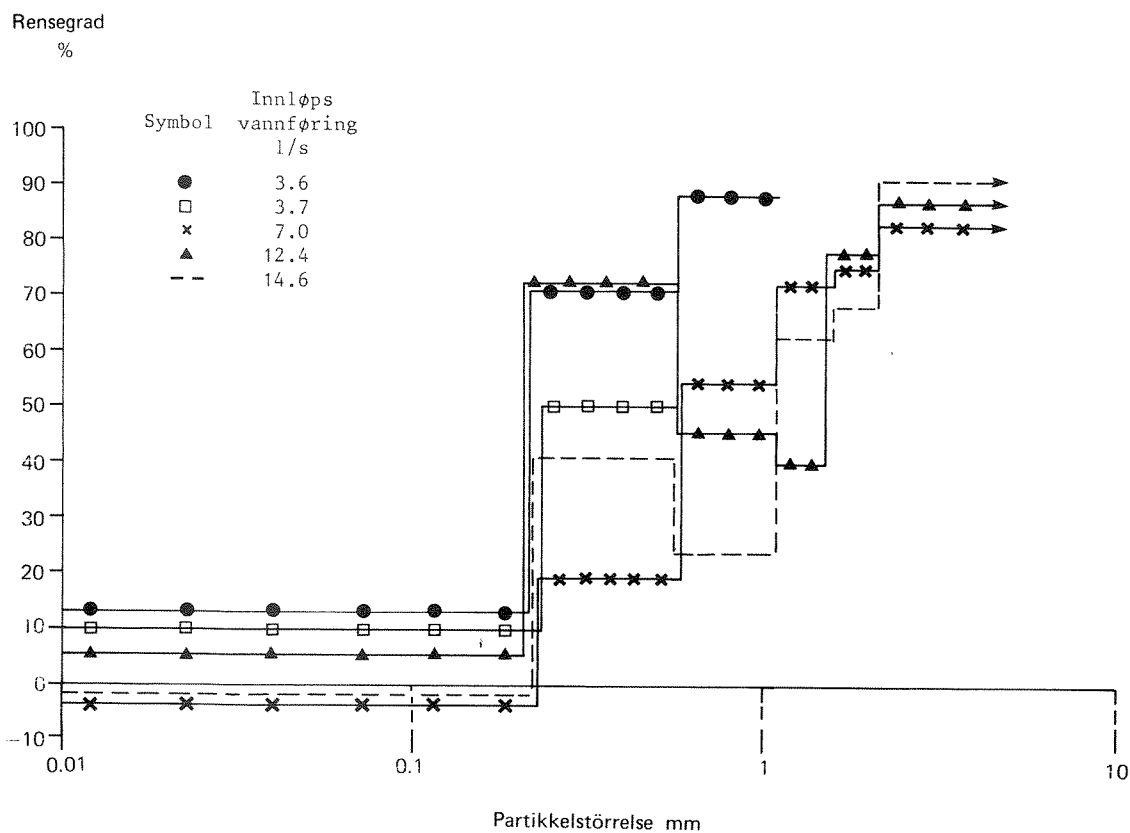


Fig. 15. Rensefunksjon for ulike organiske partikkelfraksjoner målt etter partikkelstørrelse.

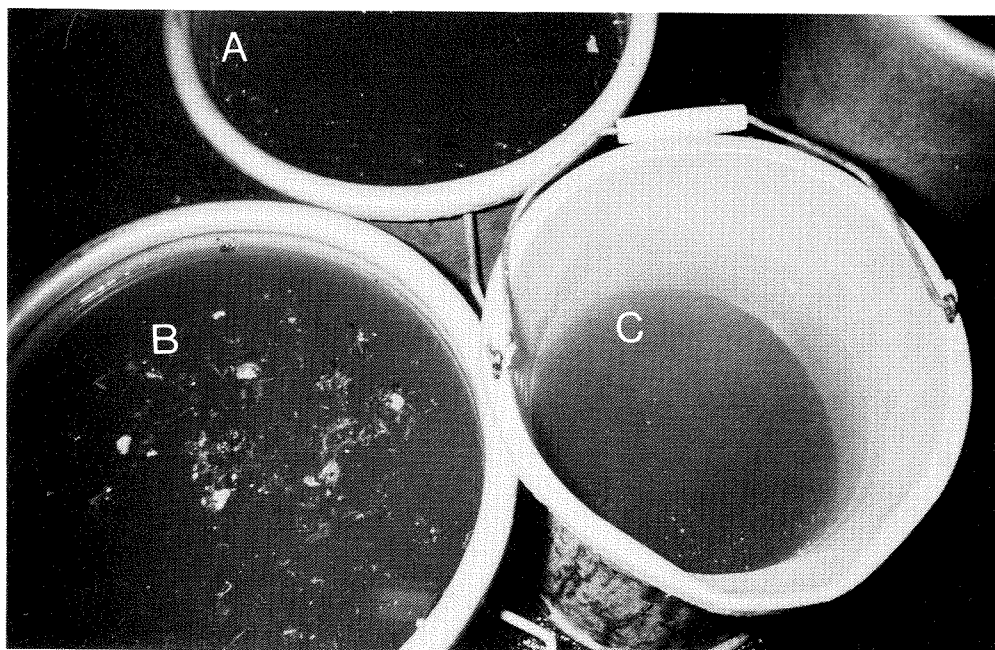


Fig. 16. Effektivitet m.h.p. avskilling av flyttestoffer. Enheten ble belastet med 14,5 l/s, og en prøve av innløps-, utløps- og overløpsvann ble tatt. A = innløp, B = utløp og C = overløp.

4. OPPFØLGING AV FULLSKALA ENHET I HALDEN

4.1 Beskrivelse av overløpet med kostnadsoverslag

Overløpet er dimensjonert for en tilrenning på 150 l/s, og diameteren på overløpskammeret er 2,8 m. Fig. 17-19 viser målsatte tegninger, og i fig. 20-23 er det vist bilder av overløpskonstruksjonen.

Overløpskammeret er laget i glassfiberarmert polyester. Kammerets bunn har en helning inn mot sentrum på 1:15, og i bunnen er det innstøpt tørrværsrenner. Kammeret ble laget av et lokalt firma, og kostet ved årsskiftet 1979/80 kr. 13 000.

Selve overløpsenheten ble laget i rustfritt stål som ble punktsveiset. Enheten ble laget på kommunens eget verksted. Som vist på fig. 17, 18 og 20 ble det laget en rist mellom skumskjerm og overløpskant. Dette er ikke standard-utrustning ifølge spesifikasjonene for SWIRL. Terskelen i innløpet og måten tørrværsrennen er utformet på ved innløpet (se fig. 22), er noe uheldig og er heller ikke ifølge beskrivelsen i PRA-komiteens brukerrapport. Terskelen er for øvrig lagt inn for å unngå oppstuvning oppstrøms overløpet ved relativt lav vannføring.

Utløpet til renseanlegg er strupet med en løs sirkulær strupeplate med åpningsdiameter 80 mm som kan trekkes opp når kammeret skal tømmes for vann ved inspeksjon. (Se fig. 28 i kapittel 5.)

Flytestoffavdraget er laget ved at det er lagt en ledeskjerm mellom skumskjermen og ytre vegg i overløpskammeret, som vist i fig. 17, 18, 20 og 21. Flytestoffene ledes, som figurene viser, inn i en kanal til et nedføringsrør som ifølge PRA-komiteens brukerrapport avsluttes i nivå med overløpsplaten. Det oppstår en hvirvel i dette nedføringsrøret, som trekker flytestoffene ned under overløpsplaten. For å bedre på effektiviteten av dette flytestoff-arrangementet ble det etter en tid satt ned et forlengelsesrør som munnet ut like over utløpsdysen i bunnen av tanken. I fig. 23 er overløpet vist i funksjon med forlengelsesrøret nedsatt. Se for øvrig beskrivelse i kapittel 5.

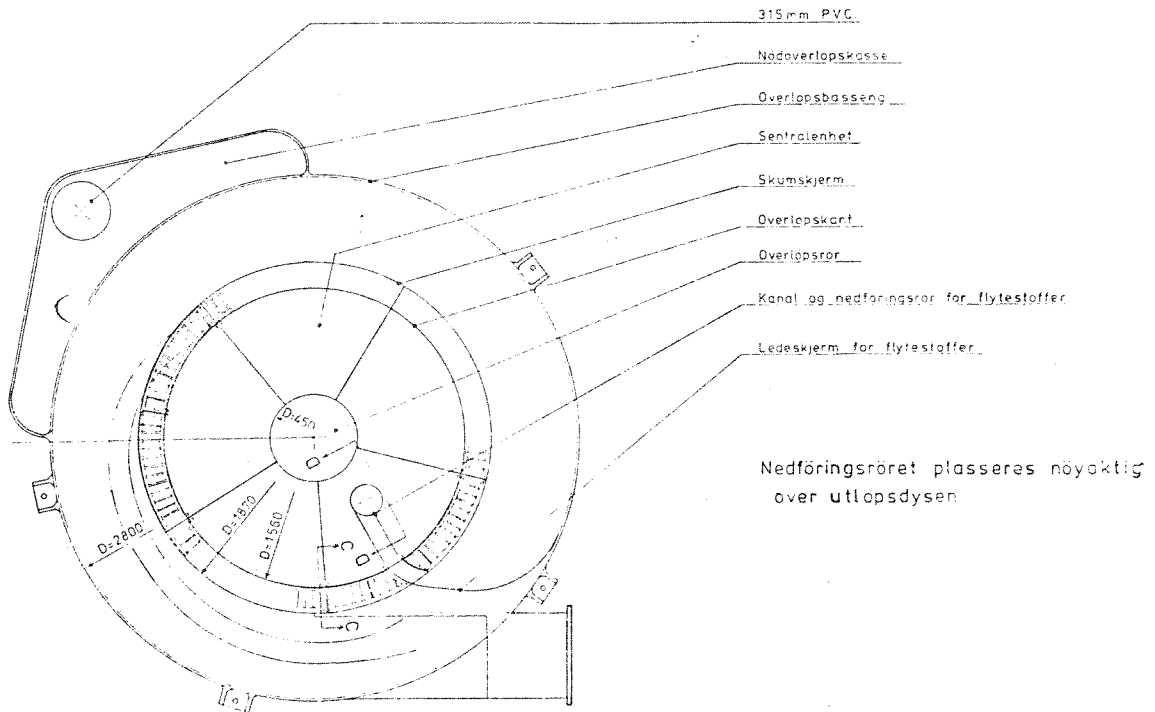


Fig. 17. Overløpsbasseng med sentral overløpsenhet.

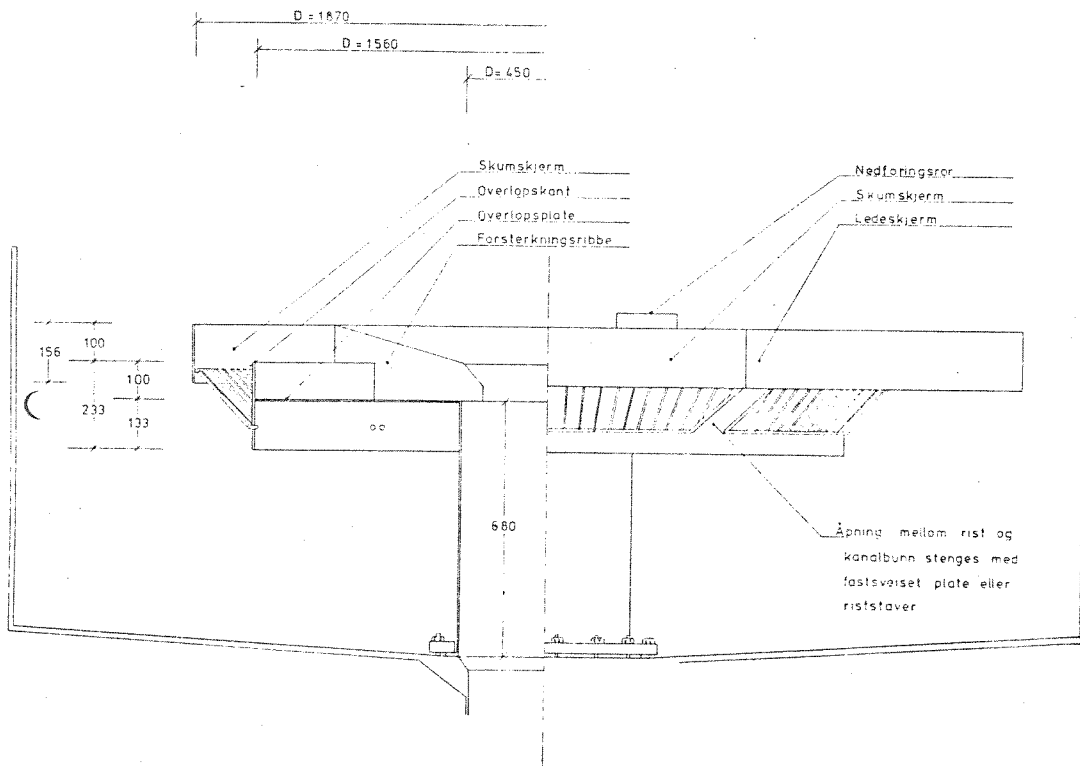


Fig. 18. Sentral overløpsenhet.

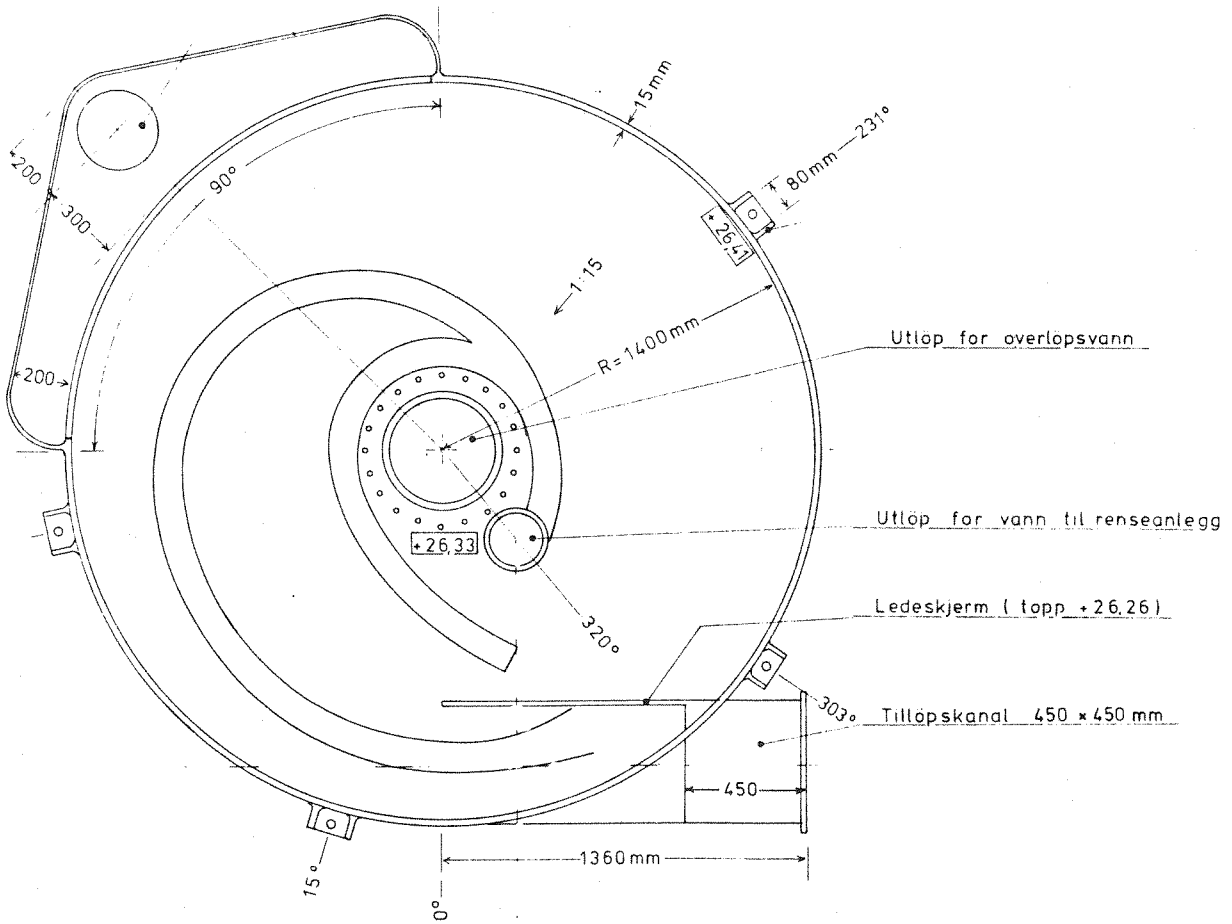


Fig. 19. Overløpskammer med innløpskanal, tørrværsrenner og nødoverløp.

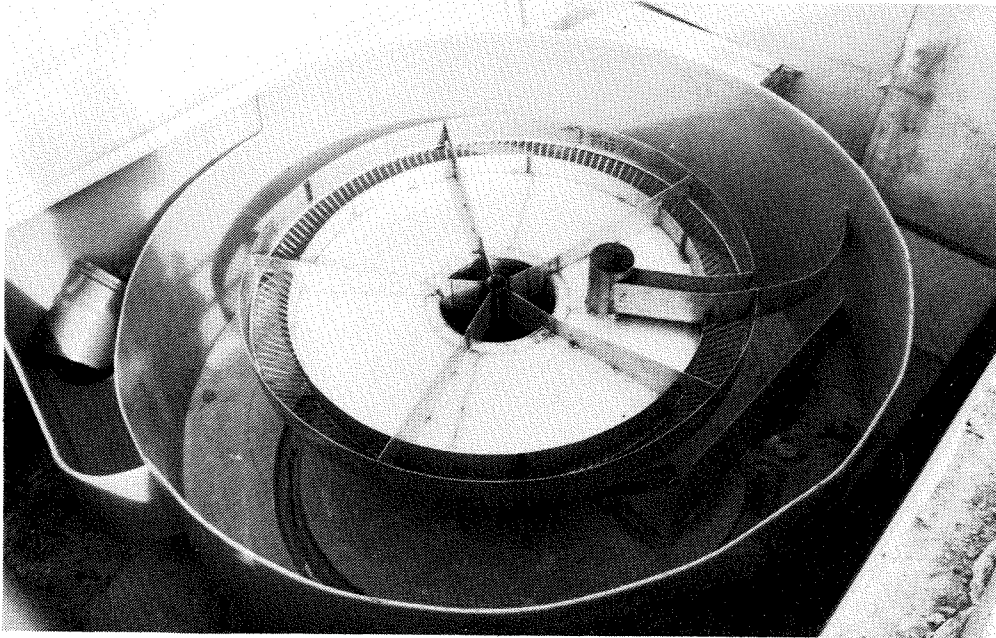


Fig. 20. Overløp under bygging.

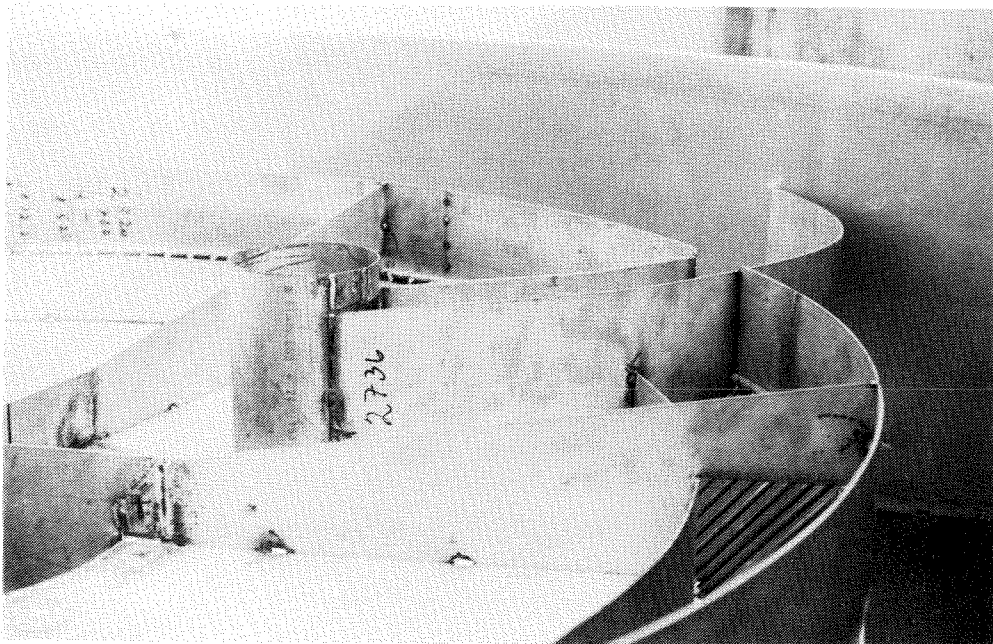


Fig. 21. Nærbilde av sentraloverløps-enhet.

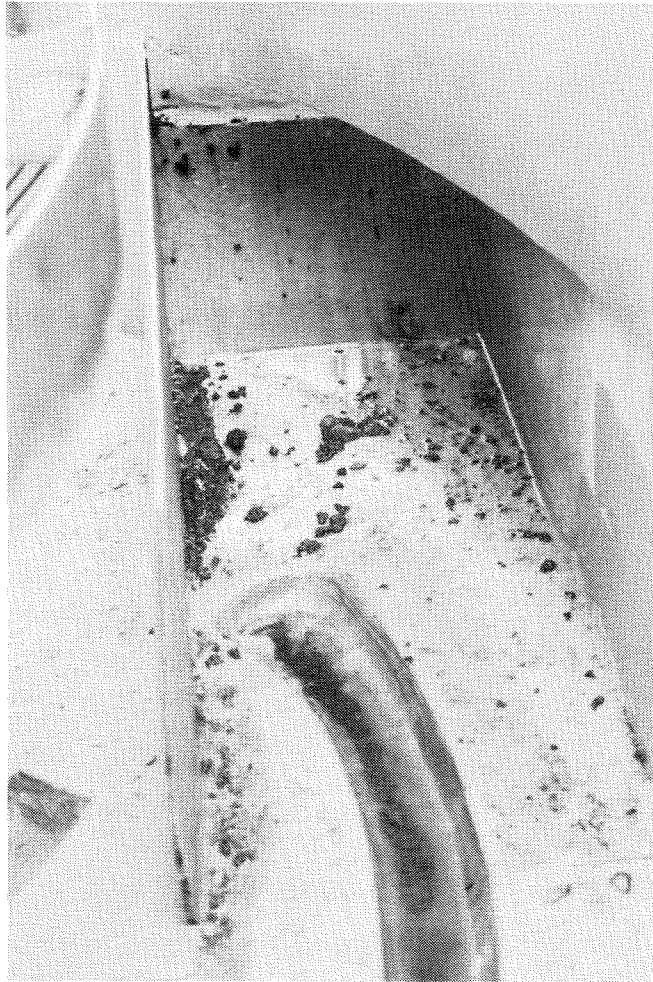


Fig. 22. Innløp med terskel, ledeskjerm og tørrvårsrenne.

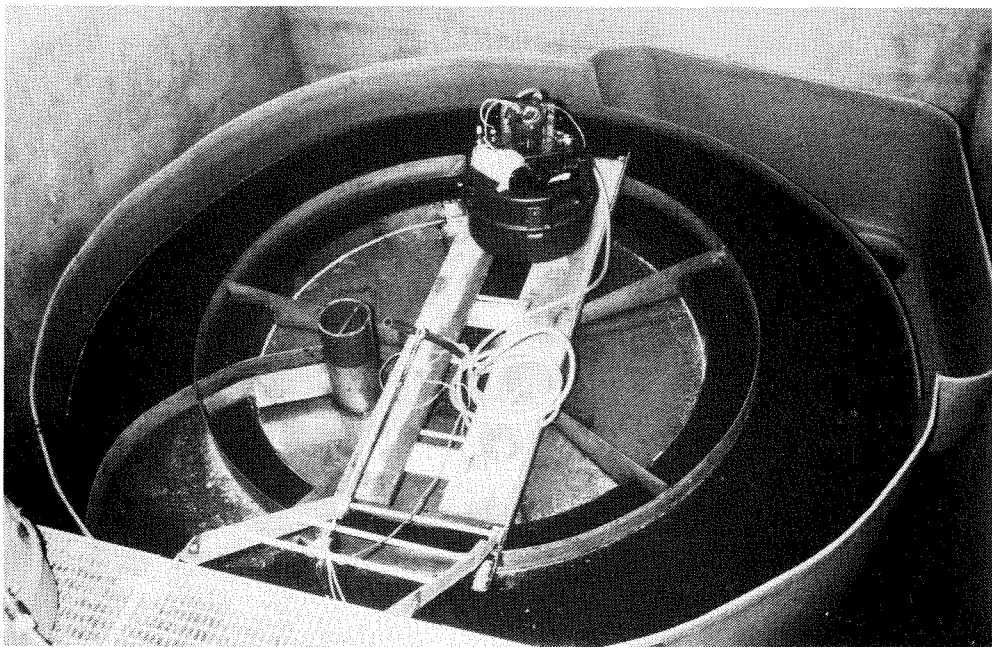


Fig. 23. Overløp i drift.

I tabell 2 er det satt opp et kostnadsoverslag for overløpet, basert på kommunens timelister. Det må bemerkes at utgiftene inkluderer en rekke ting som ikke er spesifikke for hvirveloverløpet som sådan, men som mer er et resultat av at man har bygget et overløp med høy teknisk standard med hensyn til arbeidsmiljøforhold, vedlikeholdsmuligheter etc. Selve mer-utgiftene ved å bygge et hvirveloverløp kontra et annet overløp der hydraulisk kontroll søkes oppnådd, vil trolig ikke overstige utgiftene til selve den sentrale overløpsenheten i rustfritt stål. For å lage denne medgikk det anslagsvis 150 arbeidstimer ved kommunens eget verksted.

Tabell 2. Kostnader for overløp i Halden.

		Kr. (1980)
Utførte arbeider	Lønnsutgifter	63 570
	Avløp til, i og fra overløp	25 146
	Materiell	65 780
	Transport	22 834
	Maskinutgifter	47 740
	Elektrisk anlegg	5 860
	Erstatning til grunneier	4 000
Sum hittil		234 930
Planlagte utbedringer (antatte utgifter)	Høyning av bassengkent	2 000
	Oppstøp av bassengbunn	1 800
	Avfuktningsaggregat	14 240
	Dykke utløpsledning	3 000
	Trapp og gangbaner	3 000
Samlede utgifter inkl. investeringsavgift		258 970

4.2 Driftserfaringer og renseresultater

Fig. 24 viser en vannførings-/varighets-kurve for Remmenbekken hvor overløpet er installert. Overløpet er innstilt på ca. 8 l/s, og av figuren går det frem at dette vil gi en driftstid over året på 80 prosent eller ca. 7000 timer/år.

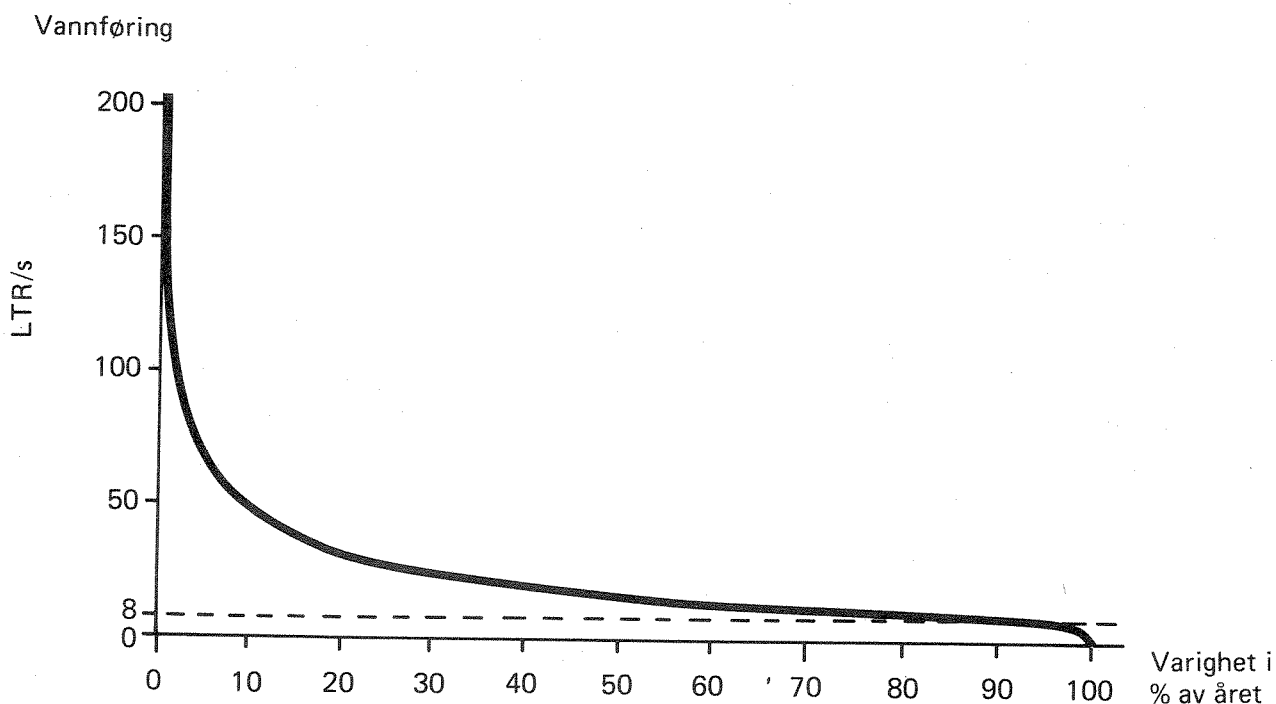


Fig. 24. Vannførings-/varighets-kurve for Remmenbekken.

Overløpet er altså i funksjon det meste av året og vil i størstedelen av funksjonsperioden være belastet med en innkommende vannføring på 10-30 l/s. Dette er svært ugunstig ut fra en driftsteknisk synsvinkel, da kammeret fungerer dårligst med hensyn til selvrensing ved en slik vannføring. Både ved svært lav vannføring (før overløpet trer i funksjon) og ved stor belastning vil kammeret fungere bedre med henblikk på selvrensing. Driftsoperatøren har rapportert om noen problemer med avsetning av materiale på bunnen av kammeret, men det er bare rapportert om ett tilfelle der overløpet har vært gjentettet i løpet av de fire måneder overløpet har vært i drift. Ved å løfte opp utløpsdysen slik at utløpsåpningen blir mye større, fjernes eventuelt avsatt materiale effektivt.

Overløpet blir i nedbørrike perider rengjort hver arbeidsdag. Dette kommer for det meste av at ristene mellom overløpsterskelen og skumskjermen lett går tett og krever renhold. Disse er, som nevnt, ikke standard ifølge PRA's brukerrapport.

Det synes som om en åpningsdiameter på 80 mm på utløpsdysen er tilstrekkelig til at det ikke medfører noen særlige gjentettingsproblemer. Normalt ville man forvente at det var nødvendig med en større diameter. Det er trolig fire forhold som forklarer dette gunstige resultatet.

- Det er rist foran innløpet
- Vannet inneholder relativt lite filler og andre ting som kan føre til gjentetting
- Strømforholdene i kammeret er så pass rolige at store steiner avsettes før de når utløpet
- Det er hyppig tilsyn slik at eventuell begynnende oppbygging av materiale på bunnen av kammeret fjernes.

Flytestoff-avdraget viste seg å være for lite effektivt ved vannføringer på 10-30 l/s når nedføringsrøret ikke ble ført lengre ned enn til overløpsplaten. Da overløpet store deler av tiden er i drift ved denne vannføringen, hopet det seg derfor ofte opp flytestoffer mellom skumskjermen og ytterveggen av kammeret (vist i fig. 27 i kapittel 5). Nedføringsrøret ble derfor forlenget slik at det munnet ut like over utløpsdysen. Den ønskede effektivitet av flytestoff-avdrag kunne deretter innstilles ved at forlengelsesrøret ble justert noe opp eller ned. Man har hatt bare gode driftserfaringer med denne konstruksjonsmessige endringen. Se for øvrig beskrivelse i kapittel 5.

Hvirveloverløpets rensesfunksjon er undersøkt ved lav hydraulisk belastning. Det ble i forbindelse med to driftsbesøk tatt blandprøver over noen timer. I begge tilfeller var råkloakk fra ca. 3000 pe. tilkoblet bekkelukningen. I tabell 3 er det vist rensesresultat med henblikk på sedimenterbart stoff og kjemisk oksygenforbruk. Årsaken til den store forskjell i rensegrad under besøket den 9.5.80 i forhold til besøket 10.9.80 er først og fremst at innholdet av relativt grovt materiale var svært lavt 10.9. Dette går frem av tabell 4 hvor prøvene er fraksjonert etter sedimenterings-hastighet. Det må ellers bemerkes at vannet ved ingen av driftsbesøkene var representativt for overløpsvann.

Tabell 3. Renseresultater fra overløpet i Halden.

Dato 1980	Gj.snittl. vannføring 1/s	Sedimenterbart stoff			Kjemisk oksygenforbruk		
		Innløp	Overløp	Rense- grad	Innløp	Overløp	Rense- grad
		mg/l	mg/l	%	mg O/l	mg O/l	%
9.5	13	148	51	66	158	135	15
10.9	11	56,4	39,8	29	210	200	5

Tabell 4. Innhold av partikler fraksjonert etter sedimenterings-
hastighet, 9.5. og 10.9.1980. Innkommende vannføring
var henholdsvis 13 og 11 l/s. Se for øvrig tekst forrige side.

Partikler med sedimenterings- hastighet cm/min	9.5.1980			10.9.1980
	Innløp mg/l	Utløp mg/l	Rensegrad %	Innløp mg/l
Større enn 60	65	0,4	99	18
20 - 60	31	7	77	21
4 - 20	17	14	18	25
1,3 - 4	29	26	10	24
0,7 - 1,3	22	18	18	24

5. VEILEDNING FOR INSTALLASJON, BYGGING OG DRIFT AV HVIRVELOVERLØP

5.1 Installasjon

Det er prinsipielt to ulike måter å installere et hvirveloverløp på:

- Både tørrvørs- og flom-avrenning ledes gjennom overløpet
- Kun flom-avrenningen ledes gjennom overløpet.

I fig. 25 er dette vist nærmere. Skisse nr. I, II og III viser eksempler på installasjoner hvor kun flomavrenningen ledes gjennom overløpet, mens nr. IV viser situasjonen når all avrenning ledes gjennom overløpet.

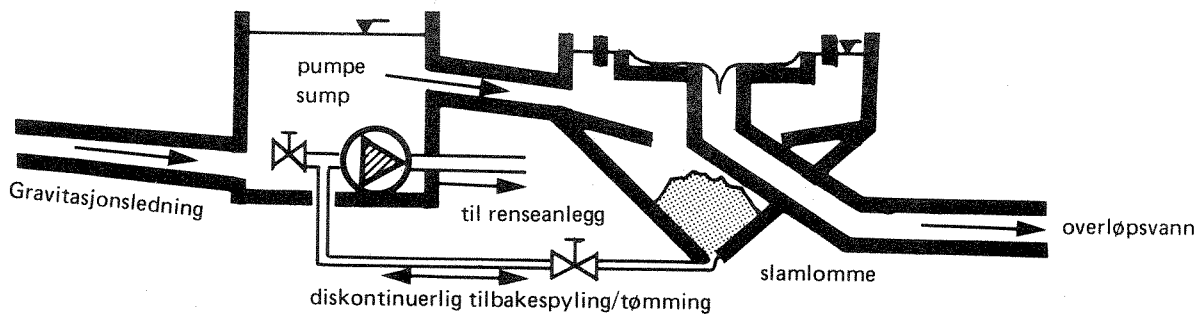
Ved å installere overløpet i parallell med avløpsnettets slik at det kun ledes vann inn i overløpskammeret under flomavrenning, vil man ofte kunne oppnå vedlikeholdsmessige fordeler, idet man unngår at det sedimenterer stoff i kammeret under tørrvær, eller at utløpet gjentettes slik at all tørrvørsavrenning går i overløp. En slik måte å installere overløpet på vil være spesielt aktuell der man:

- har en pumpestasjon eller annen god regulering av videreførte vannmengder
- har en vannføringskurve som minner om type B i fig. 26, slik at driftstiden på overløpet er relativt liten over året.

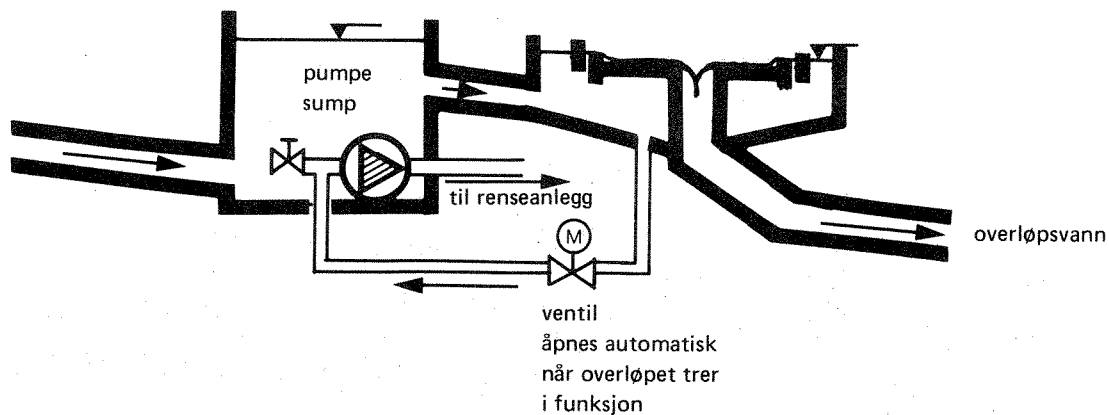
Dersom man har en vannføringskurve som minner mer om type A i fig. 26, vil det oftest være naturlig også å lede tørrvørs-vannføringen gjennom overløpet. Som det var tilfellet ved Remmen bro i Halden kommune, vil overløpet da være i drift betydelige deler av året, og det ville være driftsmessig lite å vinne på å koble overløpet i parallell.

Overløpet bør installeres slik at det er lett tilgjengelig for inspeksjon og rengjøring, da man må påregne ukentlig tilsyn, og det bør legges inn rentvann for spyling.

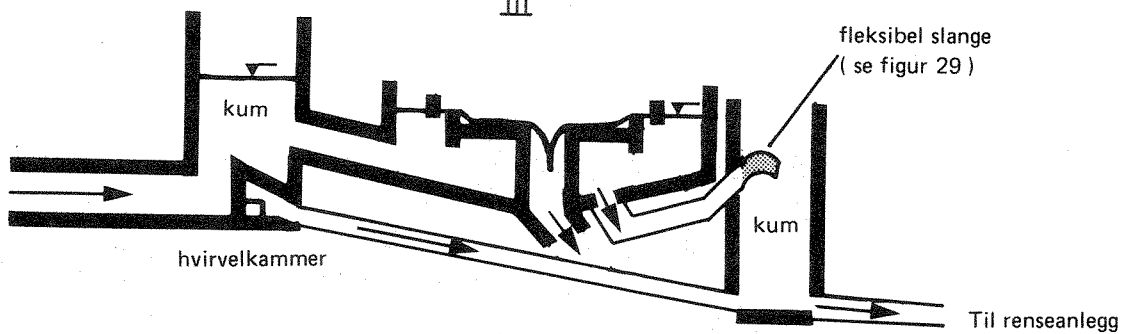
I



II



III



IV

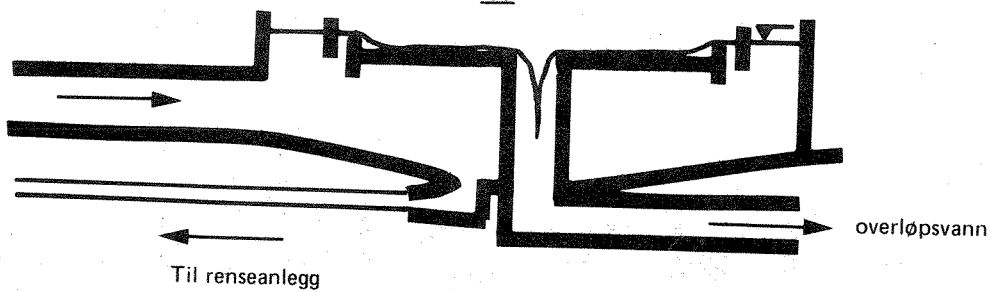


Fig. 25. Eksempel på installasjoner av hvirveloverløp.

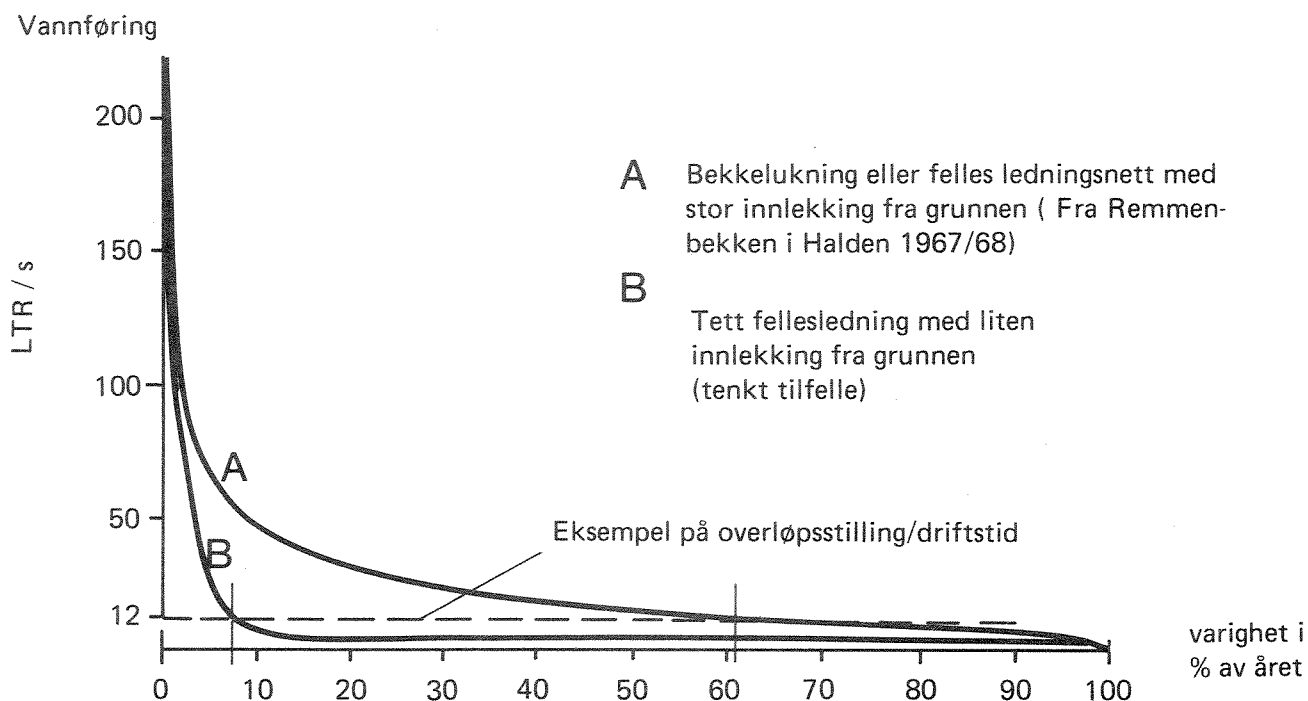


Fig. 26. Eksempel på to ytterlig-gående typer av vannføringskurver i fellessystem. Ved en overløpsinnstilling på ca. 12 l/s vil man i det ene tilfellet ha en driftstid på overløpet på 7% eller ca. 600 h/år, mens man i det andre tilfellet får en driftstid på 61% eller ca. 5300 h/år.

5.2 Bygging

Detaljtegninger av overløpet som ble bygget i Halden, kan fås ved henvendelse til NIVA. For øvrig vises til PRA-komiteens brukerrapprt nr. 2 (4). Selve overløpskammeret kan bygges i glassfiberarmert polyester, stål, eller kanskje enklest av standard kumelementer der diameteren er avpasset dimensjonerende vannføring inn på enheten, ifølge likningen:

$$D = 0,91 \left(\frac{Q_{\text{dim}}}{9,1 \times 10^{-3}} \right)^{2/5}$$

D = diameter i m

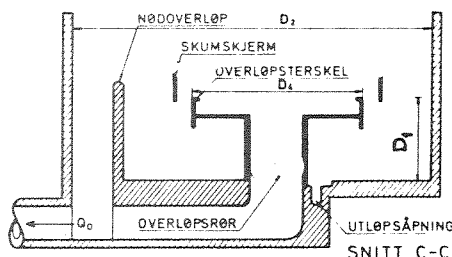
Q_{dim} = dimensjonerende vannføring i m³/s.

Bunnen kan så støpes i betong på stedet. I tabell 5 er det vist noen dimensjonsdata tilpasset standard kumring-diametre.

Tabell 5. Dimensjonerende data tilpasset standard kumring størrelser fra bedrifter tilsluttet A/S Alfanor som innehar ca. 60 prosent av omsetningen av kumringer her i landet.

Dimensjonerende vannføring (Q_{dim})	Kumring diameter (D_2)	Overløps-terkselens diameter (D_4)	Vertikal avstand fra overløps-terkselen til høyeste nivå av bunn i overløpskammeret (D_1)
l/s	cm	cm	cm
mindre enn 11	100	55	25
12 - 18	120	67	30
19 - 26	140	78	35
27 - 37	160	89	40
38 - 50	180	100	45
51 - 65	200	111	50
65 - 100	240 ^{x)}	133	60
101 - 180	300 ^{x)}	167	75

x) må bestilles.



Avtrekkørøret for flytestoffer avsluttes ifølge PRA-komiteens brukerrapport i nivå med overløpsplaten. Når overløpet er i funksjon ved relativt lav belastning, vil denne som regel ikke dra unna flytestoffene, slik at disse i første omgang magasineres utenfor skumskjermen, som vist i fig. 27.

Det vil på denne måten kunne bygge seg opp så mye flytestoffer at disse føres under skumskjermen og dermed går i overløp. Vi vil derfor anbefale at det i de fleste tilfeller settes ned et forlengelsesrør (røret er tatt opp og merket B på fig. 27) i avtrekkørøret for flytestoffer (se pil på figuren), som munner ut direkte over utløpet i bunnen av kammeret. Ved å justere dette røret opp eller ned kan den ønskede effektivitet av flyteslamavdraget stilles inn. Overløpet er for øvrig vist i drift med forlengelsesrøret nedsatt i fig. 23.

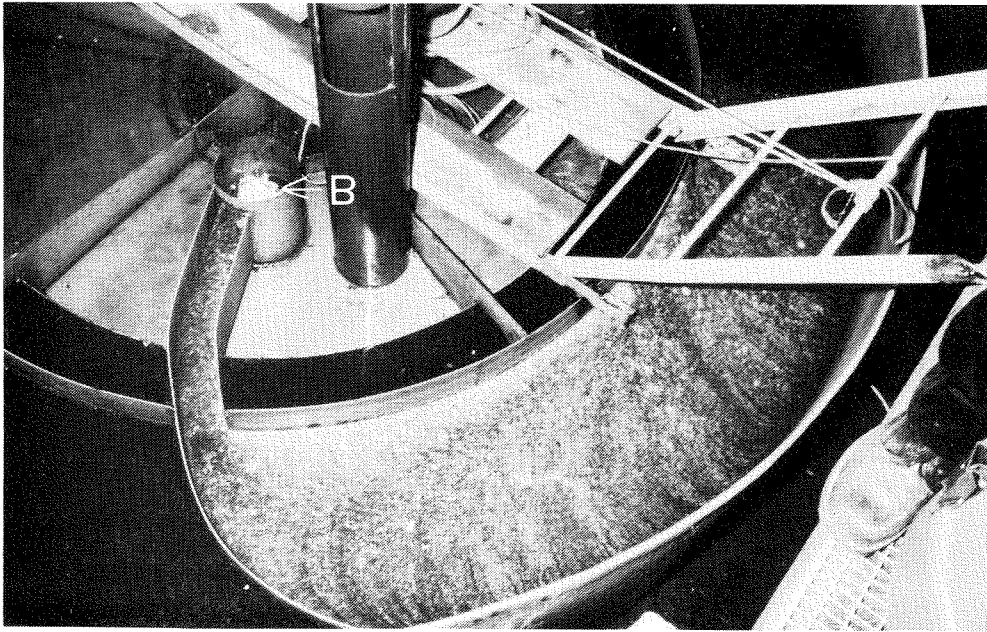


Fig. 27. Flytestoffavdrag i funksjon ved lav belastning når nedføringsrør munner ut på overløpsplaten.

I PRA-komiteens brukerrapport er det angitt en minimum bunnhelning på 1:15 som er i samsvar med amerikansk litteratur. Driftserfaringer fra Halden har imidlertid vist at dette gir avsetninger i kammeret. Dersom det er mulig, vil vi av hensyn til fallforholdene, derfor foreløpig anbefale en minimum bunnhelning på 1:10. Også ved en slik bunnhelning vil man måtte påregne en del bunnavsetninger. Det er viktig å føre tørrværs-avrenningen inn i tørrværsrennen på en god måte. Dette gjøres trolig best ved at tørrværsrennen føres et stykke inn i tilløpsrøret.

For å få så rolige strømforhold som mulig i overløpskammeret og dermed maksimal rense-effektivitet, vil vi sterkt anbefale at det benyttes et nærmest horisontalt innløpsrør til kammeret. Eventuelle terskler eller større rørhelninger bør avsluttes minst 1,5-2,0 m foran innløpsåpningen. Deler av ledningsnettets oppstrøms overløpet vil oftest være dykket og ikke selvrensende når overløpet er i funksjon ved lav belastning.

Dersom vi f.eks. setter en grense på $\tau = 3 \text{ N/m}^2$ som et minstekrav til skjærspenning i et betongrør for at dette skal være selvrensende, vil et rør med en diameter på 300 mm og en friksjonskoeffisient, f , på 0,025 kreve en minimumshastighet på vannstrømmen på

$$v = \sqrt{\frac{8\tau}{f}} \times \sqrt{\frac{1}{\rho}} = 0,97 \text{ m/s}$$

for selvrensning. 0,97 m/s tilsvarer en vannføring på hele 70 l/s ved fylt tverrsnitt, dvs. under oppstuvningsforhold. Dersom røret er lagt med en helning på f.eks. 10⁰/oo, vil det maksimalt kunne føre 100 l/s om den relative ruhet er 1 mm, og det ikke introduseres trykk, f.eks. i form av kumoppstuvning etc. Dersom hvirveloverløpet er dimensjonert for en vannføring på 100 l/s og trer i funksjon ved 10 l/s, vil over 60 m av røret oppstrøms bli oppstuvet og ikke være selvrensende i store deler av tiden overløpet er i funksjon.

Dersom det er lagt plastledninger, vil forholdene være noe gunstigere på grunn av mindre krav til skjærspenning og mindre friksjonskoeffisient og relativ ruhet. Vi mener likevel at det ikke vil være noen fare ved å operere med slik oppstuvning selv under langvarige flomtilfeller (f.eks. snøsmelting), da en eventuell sedimentering av stoff vil føre til en tverrsnitts-reduksjon som igjen vil føre til at hastigheten øker slik at selvrenningsbalansen gjenopprettes. Ved nyanlegg anbefales det likevel å benytte plastledninger og benytte så stort fall som mulig i "oppstuvningssonen". Dette gjelder særlig ved små ledningstverrsnitt der filler og liknende lettere kan tette røret. En annen måte å sikre seg på dersom det er fare for kjeller-oversvømmelser etc. ved kloakkstopp, er å installere et nødoverløp oppstrøms oppstuvningssonen.

Det er viktig at utløpet for vann som ledes videre til renseanlegg, utformes på en hensiktsmessig måte.

Diameteren på utløpsåpningen i bunnen av overløpet bør kunne reguleres med løs utløpsdyse, som vist i fig. 28. Dersom utløpet er gjentettet og/eller kammeret er fylt med vann ved inspeksjon, kan dysen trekkes opp ved at man stikker en krok ned gjennom røret for flyteslamavdrag (etter at eventuelt forlengelsesrør er dratt opp). Den raske tømmingen av kammeret som dette resulterer i, vil som regel føre til at eventuelt bunnavsatt slam dras med ut.

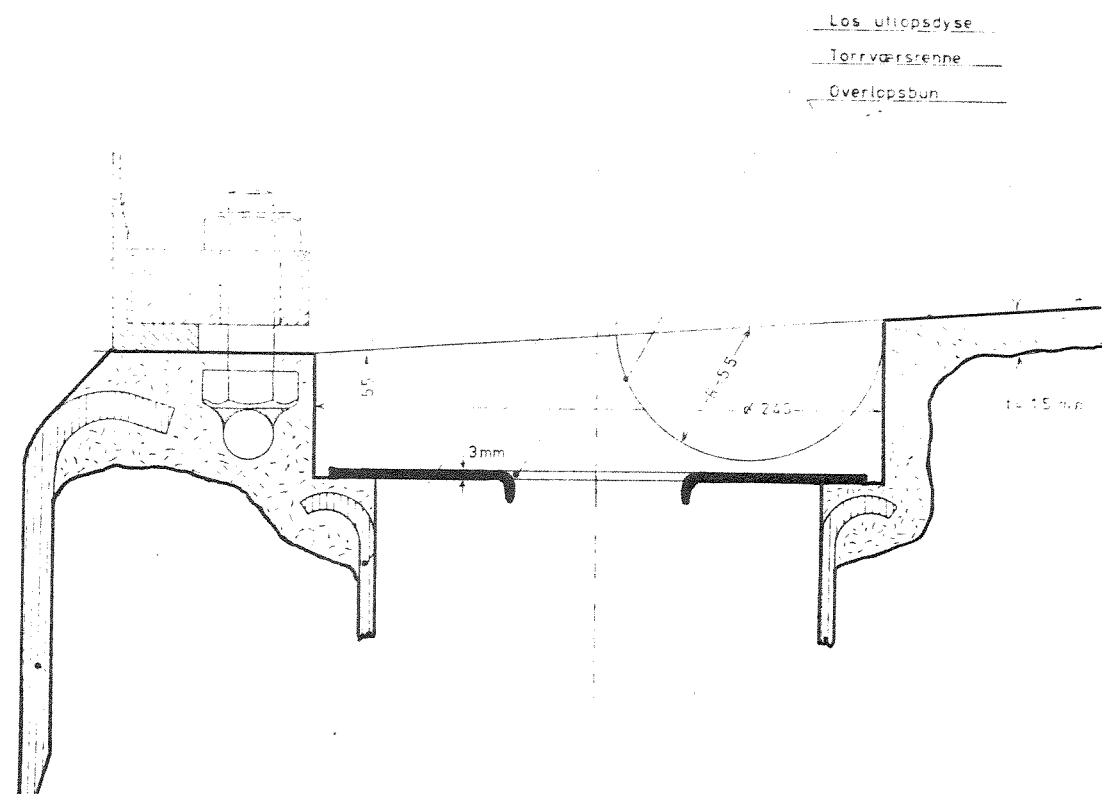


Fig. 28. Anbefalt utforming av utløpsarrangement med utløpsdyse.

Dersom man benytter rist foran overløpskammeret og har ukentlig inspeksjon eller oftere, vil man trolig kunne benytte en åpnings-diameter på dysen ned mot 10-12 cm.

En skarpkantet, sirkulær utløpsdyse vil gi en vannføring på

$$Q = C \times \pi \times \frac{d^2}{4} \sqrt{2gh}$$

$$C = 0,6$$

d = diameter på dyse i m

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

h = energihøyde i m

Q = vannføring i m³/s.

Med en utløpsdyse på 10 cm og en energihøyde på henholdsvis 20, 40 og 60 cm gir dette en utløpsvannføring på henholdsvis 9, 13 og 16 l/s. Dersom man

ønsker å redusere de videreførte vannmengder ytterligere, bør man velge en annen form for vannførings-regulering. I fig. 29 er det skissert tre mulige løsninger for hvordan dette kan gjøres. Et par av disse vannførings-regulatorene vil trolig bli nærmere utprøvd i 1981, slik at mer detaljerte spesifikasjoner kan gis.

5.3 Drift

Hvirveloverløpets størrelse og detaljerte utforming vil avgjøre hvor ofte overløpet krever driftstilsyn. Følgende forhold vil spille en stor rolle:

- Om det er bare flomavrenningen, eller om både tørrværsavrenning og flomavrenning ledes gjennom overløpet.
- Vannførings-/varighets-kurvens form i forhold til overløpsinnstillingen.
- Om overløpet er utstyrt med alarm som varlser om gjentetting.
- Diameteren på utløpsdysen og hvordan utløpsarrangementet for øvrig er utformet.
- Eventuell rist mellom skumskjerm og overløpskant som kan gjentettes.
- Eventuell rist foran innløpet.

Vi vil anta at nødvendig inspeksjons-hyppighet vil variere mellom én uke og én måned, avhengig av forholdene nevnt ovenfor.

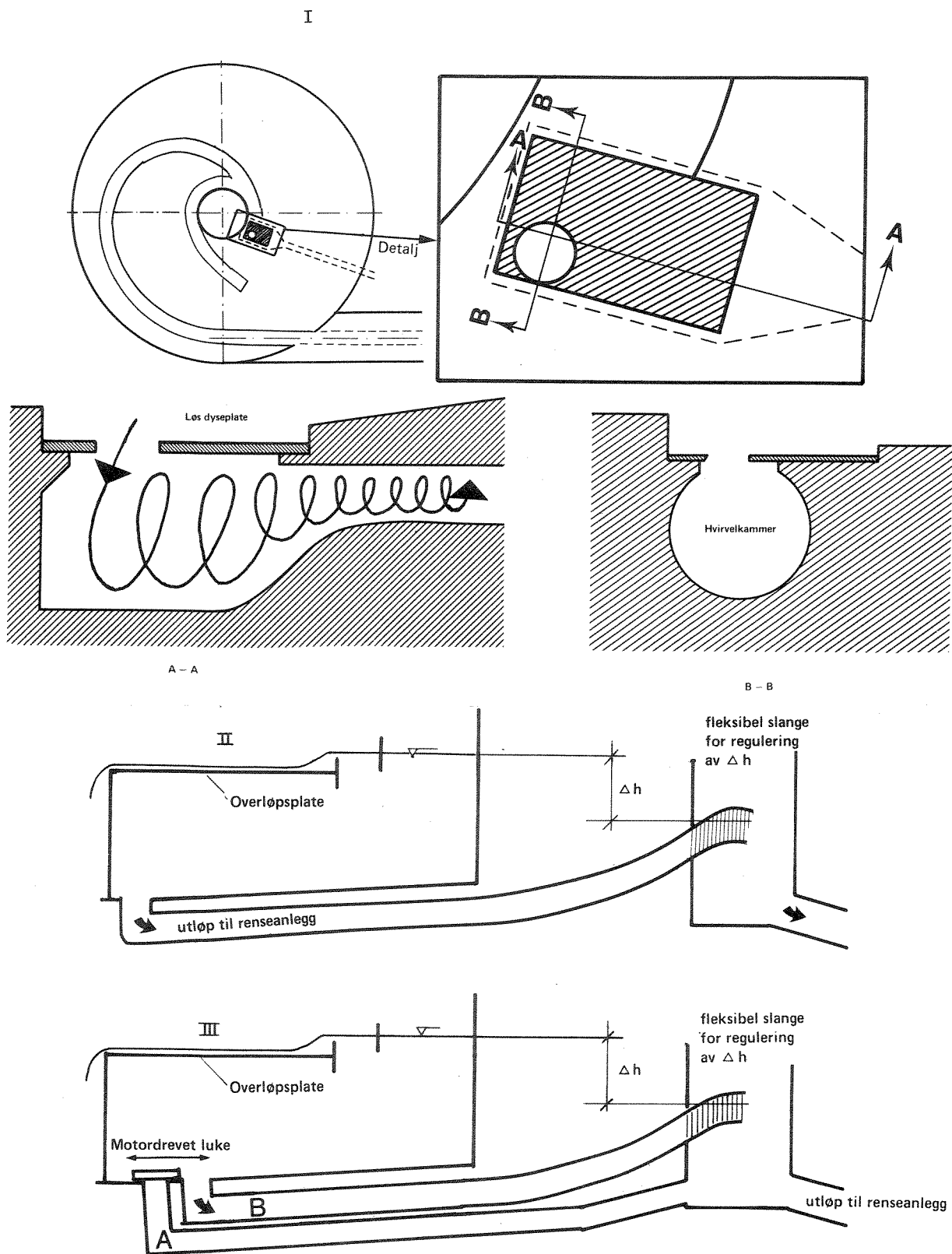


Fig. 29. Tre typer vannføringsregulatorer som kan benyttes i hvirveloverløp.

6. LITTERATUR

1. Smisson, B. (1967): "Design Construction and Performance of Vortex Overflows". Paper No. 8, Symposium of Storm Overflows. Institution of Civil Engineers, London.
2. Sullivan, R.H. et al. (1972): The Swirl Concentrator as a Combined Sewer Overflow Regulator Facility. USEPA Report No. EPA-R2-72-008.
3. Drehwing, F.J. et al. (1979): "Disinfection/Treatment of Combined Sewer Overflows". EPA-600/2-79-134.
4. Mosevoll, G. (1975): "Regnvannsoverløp og fordrøyningsbasseng". PRA-komiteens brukerrapport nr. 2.
5. EPA (1977): "SWIRL Device for Regulating and Treating Combined Sewer Overflows". EPA-625/2-77-012.

		Side:
APPENDIKS A	Forsøksopplegg på Kjeller	42
APPENDIKS B	Analyseopplegg	44
APPENDIKS C	Resultater fra forsøkene på Kjeller på tabellform	47

APPENDIKS A

Forsøksopplegg på Kjeller

Det ble bygget en forsøksenhet med diameter 1,15 m og dimensjonerende kapasitet på 16,7 l/s. Overløpskammeret bestod av en ferdigkjøpt sirkulær, flatbunnet beholder i glassfiberarmert polyester, som vist i fig. 30. Overløpsarrangementet ble bygget i PVC og rustfritt stål som avbildet i fig. 31. Overløpet ble koblet til en lagertank for vann.

Det ble kjørt 27 forsøkskjøringer, hver over 5-10 minutter og med konstant vannføring i hver kjøring. Dette ble oppnådd ved hjelp av en nivåføler i tanken, koblet til en skriver beliggende ved en åpningsventil i bunnen av tanken. Ved å åpne ventilen og følge med på skriveren kunne den ønskede vannføring for hver forsøkskjøring innstilles.

Vannkvaliteten var noenlunde konstant under hver forsøkskjøring. Variasjon fra kjøring til kjøring ble gjort på flere måter.

- Ved å tilsette sedimentert materiale fra råkloakk til lagertank
- Ved å dosere vegstøv i innløp
- Ved å benytte ulik intensitet av luftomrøring med trykkluft-diffusorer i lagertank.

Det ble i begynnelsen tatt en total blandprøve av både innløps-, utløps- og overløpsvann under hver forsøkskjøring. Det viste seg svært vanskelig å ta representative prøver av innløpet, og vi gikk etter hvert over til kun å ta prøver av utløp og overløp og så heller beregne innløps-konsentrasjonen på bakgrunn av den totale massetransport. I utløpet fant vi det riktigst å bruke en manuell "splitt-prøvetaker" på grunn av det store innholdet av relativt grovt partikulært materiale. Systemet er vist nærmere i fig. 32.

For å ta prøve av overløpsvannet var det tilstrekkelig å benytte en slangepumpe, som det fremgår av fig. 30.

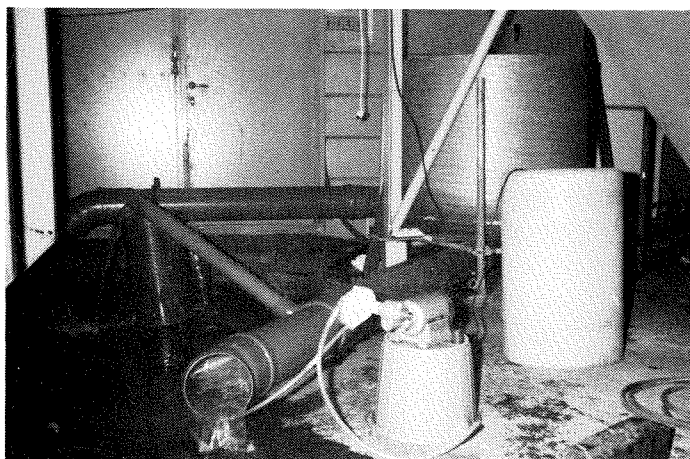


Fig. 30. Forsøksenhet.

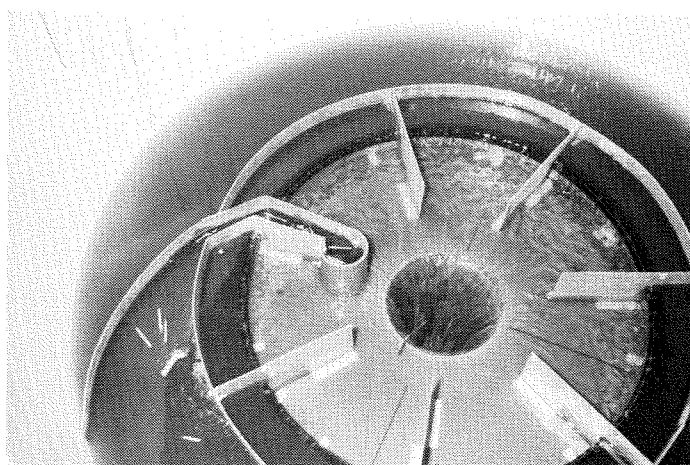


Fig. 31. Overløpsarrangement i rustfritt stål og PVC.

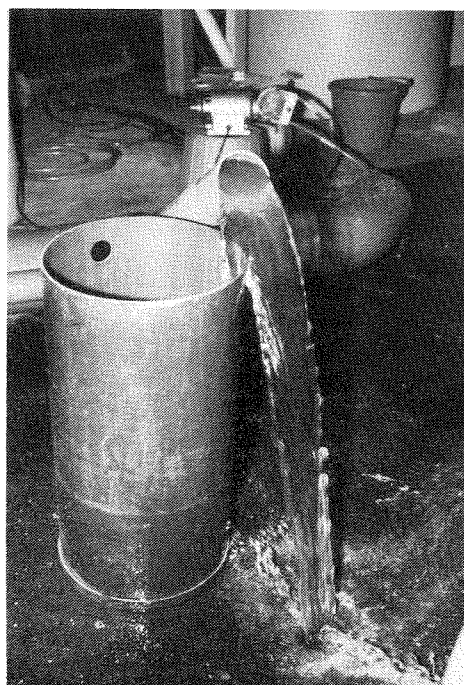


Fig. 32. Manuell splittprøvetaker for utløpsvann.

APPENDIKS B

Analyseopplegg

Det er benyttet tradisjonelle parametre, som kjemisk oksygenforbruk (KOF), total fosfor (tot-P), suspendert stoff (SS) og flyktig suspendert stoff (FSS). Alle disse analysene ble utført etter norsk standard.

I tillegg ble det benyttet Imhoff beger, som vist i fig. 33, for å finne hvor mye sedimenterbart stoff som ble avskilt. Etter 60 minutters (i enkelte tilfeller 1 minutt) sedimentering ble "renvannet" dekantert, og det sedimenterte stoff ble tatt ut og tørket ved 105 °C for å finne sedimenterbart tørrstoff (Sed.T.). Flyktig sedimenterbart tørrstoff (F.Sed.T.) ble på vanlig måte funnet ved gløding, under 580 °C.

Det ble ansett som viktig å kunne forutsi rensegrad i vanntyper med en annen partikkelfordeling enn i det vannet som ble anvendt under forsøkene på Kjeller eller i innløpsvannet til enheten i Halden. Vi benyttet derfor to metoder for å karakterisere vannet med hensyn til partikkelfordeling. Den ene metoden tar utgangspunkt i de ulike partikkel-fraksjoners sedimenteringsegenskaper mens den andre metoden karakteriserer de ulike fraksjoner etter partikkelstørrelse. Ved den første metoden anvendte vi sedimenteringskolonner som vist i fig. 34. Det ble først fylt rentvann opp til platen, benevnt A i figuren. 500 ml prøve ble deretter fylt i over platen. Platen hindret at det forurensede vannet blandet seg med rentvannet. Prøven ble omrørt, og platen ble så vendt vertikalt og løftet opp slik at partiklene i det forurensede vannet fritt kunne sedimentere i kolonnen. Etter henholdsvis 1, 3, 7, 15, 30 og 60 minutter ble det sedimenterte stoff tatt ut i bunnen av kolonnen og tørket og glødet på vanlig måte. Avstanden fra uttaket i bunnen av kolonnen og opp til midt i prøvevolumet var 60 cm. I fig. 35 er det vist et eksempel på prøver tatt ut på denne måten. Prøvene ble i dette tilfellet filtrert før tørking og gløding, og det er filterpapirene som er avbildet.

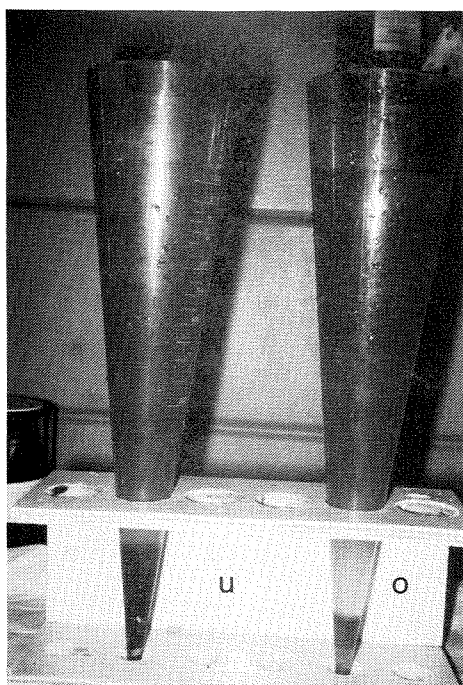


Fig. 33. Imhoff beger, u = utløp, o = overløp.

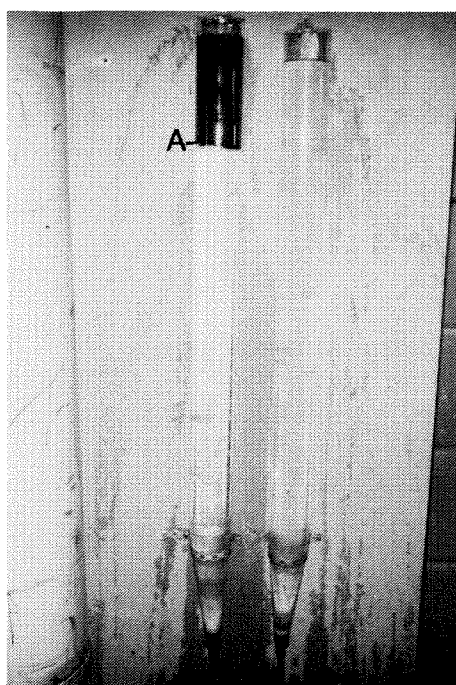


Fig. 34. Sedimenteringskolonner.

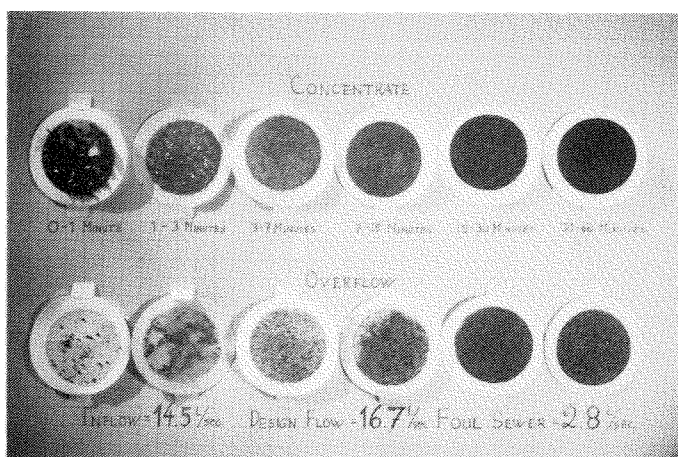


Fig. 35. Eksempel på resultater fra sedimenteringsforsøk (se beskrivelse i tekst foran).

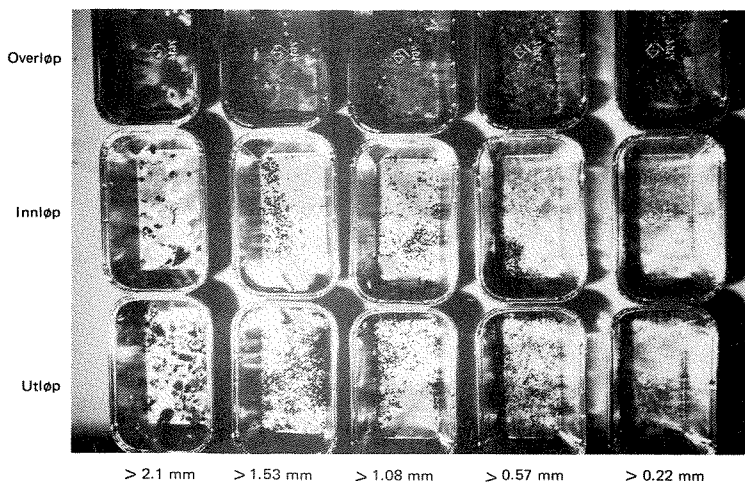


Fig. 36. Glødeskåler i forbindelse med separasjon etter partikkelstørrelse.

Det ble anvendt metallnett med lysåpninger på henholdsvis 2,10 mm, 1,53 mm, 1,08 mm, 0,57 mm og 0,22 mm for å karakterisere de ulike fraksjoner med hensyn til partikkelstørrelse. Vannprøvene som ble analysert, var på 200-1000 ml, avhengig av stoffkonsentrasjonen. Nettene ble spylt med destillert vann for å sikre at alle partikler mindre enn lysåpningen gikk gjennom. Til slutt ble vannet filtrert med GFC^{x)} papir slik at partikler større enn ca. 0,01 mm ble avskilt. De avskilte partikler ble tørket og glødet på vanlig måte. I fig. 36 er det avbildet glødeskåler der partikler fra henholdsvis innløp, utløp og overløp er separert på den angitte måte.

x) GFC papir anvendes vanligvis for analyse av suspendert stoff.

APPENDIKS C

Resultater fra forsøkene på Kjeller på tabellform

Tabell 6. Vannføringsdata.

KJØRING NR.	V A N N F Ø R I N G (L/S)				
	MIDDEL	MAKS	INN MIN	OVER MIDDEL	UT MIDDEL
1	2.56	2.70	2.50	1.56	1.00
2	4.59	4.70	4.50	3.65	0.94
3	6.20	7.08	5.69	5.13	1.07
4	6.53	7.67	6.19	5.53	1.00
5	3.50	4.11	3.05	2.50	1.00
6	14.53	16.50	11.20	13.58	1.00
7	10.50	10.80	10.20	9.50	1.00
8	6.67	7.50	5.80	5.67	1.00
9	18.64	19.80	17.30	16.14	2.50
10	6.66	7.20	6.40	4.56	2.10
11	3.71	3.80	3.70	1.71	2.00
12	12.36	13.37	10.25	10.21	2.15
13	12.25	13.50	11.50	9.25	3.00
14	6.95	7.40	6.60	5.95	1.00
15	6.96	7.20	6.23	5.96	1.00
16	5.09	5.75	4.51	2.95	2.14
17	3.58	3.60	3.50	2.58	1.00
18	14.62	15.77	12.61	13.62	1.00
19	19.84	21.20	18.30	18.64	1.20
20	19.65	20.10	19.20	18.45	1.20
21	24.14	25.10	23.20	22.89	1.25
22	5.40	5.70	5.10	4.20	1.20
23	6.19	6.40	6.00	4.19	2.00
24	6.21	6.40	6.10	3.48	2.73
25	13.82	14.10	13.60	11.09	2.73
26	6.34	6.50	6.10	5.27	1.07
27	12.34	12.60	12.00	10.34	2.00

Tabell 7. Konsentrasjon av sedimenterbart materiale.

Bunnfall i Imhoffbeger etter 1 times sdimentering ble tørket og glødet.

Lett sedimenterbart materiale var tilsvarende det som hadde sedimentert etter 1 minutts sedimenteringstid.

KJØRING	SEDIMENTERT STOFF							
	INN BEREGNET		I N N -MÅLT		U T		O V E R	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
3	224.	76.	205.	69.	490.	87.	169.	70.
4	162.	77.	173.	82.	317.	83.	134.	75.
5	408.	88.	252.	84.	1189.	91.	96.	73.
6	479.	90.	770.	91.	3813.	96.	234.	82.
7	222.	87.	166.	85.	1421.	94.	96.	76.
8	810.	92.	356.	81.	3998.	93.	248.	90.
9	1031.	87.	841.	86.	3188.	92.	697.	84.
10	319.	35.	483.	82.	744.	90.	124.	72.
11	197.	82.	166.	78.	319.	85.	55.	60.
12	280.	89.	325.	89.	1026.	92.	123.	83.
13	813.	92.	1073.	92.	2767.	94.	179.	83.
14	123.	39.	191.	89.	694.	33.	27.	65.
15	552.	84.	862.	89.	2359.	90.	249.	74.
16	474.	45.	445.	66.	779.	41.	252.	53.
17	248.	19.	482.	15.	726.	18.	63.	22.
18	882.	25.	1029.	19.	7523.	18.	394.	35.

KJØRING	LETT SEDIMENTERT STOFF							
	INN BEREGNET		I N N		U T		O V E R	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
12	40.	65.	35.	67.	57.	72.	36.	63.
13	61.	72.	61.	73.	86.	72.	53.	72.
14	23.	58.	25.	51.	35.	63.	21.	56.
15	203.	74.	221.	74.	242.	73.	197.	74.

Tabell 8. Konsentrasjon av suspendert stoff, total fosfor og kjemisk oksygenforbruk.

KJØRING	S U S P E N D E R T				S T O F F				P - T O T				K O F			
	INN BEREGNET TOTALT FLYKTIG MG/L	INN MALT TOTALT FLYKTIG MG/L	UT TOTALT FLYKTIG MG/L	%	INN BEREGNET TOTALT FLYKTIG MG/L	INN MALT TOTALT FLYKTIG MG/L	UT TOTALT FLYKTIG MG/L	%	INN BEREGNET TOTALT FLYKTIG MG/L	INN MALT TOTALT FLYKTIG MG/L	UT TOTALT FLYKTIG MG/L	%	INN BEREGNET MG/L	INN MALT MG/L	UT MG/L	OVER MG/L
1	257.	100.	382.	55.	70.	177.	56.	5.5	5.5	6.4	4.9	270.	221.	404.	184.	
2	203.	163.	347.	73.	77.	166.	77.	4.2	4.2	4.3	3.9	220.	207.	234.	217.	
3	272.	242.	569.	76.	86.	210.	79.	3.9	3.9	5.9	3.5	200.	239.	425.	153.	
4	273.	325.	499.	53.	72.	232.	59.	5.8	5.8	6.6	5.6	356.	345.	413.	346.	
5	428.	334.	490.	69.	84.	207.	63.	5.9	6.0	6.7	5.6	374.	350.	478.	333.	
6	817.	1943.	4700.	86.	90.	531.	82.	7.2	7.7	8.0	7.1	483.	615.	775.	462.	
7	301.	235.	1480.	75.	88.	177.	58.	6.0	6.1	7.6	5.8	368.	323.	618.	342.	
8	676.	500.	2658.	75.	90.	326.	63.	8.6	8.6	14.0	7.6	634.	496.	1458.	489.	
9	1263.	1534.	2443.	84.	89.	1080.	83.	8.6	8.0	8.5	8.6	538.	549.	698.	513.	
10	429.	710.	847.	80.	84.	237.	65.	5.4	5.4	6.2	5.1	337.	357.	421.	208.	
11	250.	303.	321.	58.	64.	166.	53.	5.2	5.3	5.5	4.9	269.	266.	302.	230.	
12	334.	603.	813.	74.	87.	233.	65.	4.8	4.8	5.8	4.6	265.	260.	393.	238.	
13	1194.	1791.	3331.	60.	91.	382.	86.	5.6	5.9	6.7	5.3	336.	414.	475.	201.	
14	303.	549.	995.	72.	84.	187.	52.	5.0	5.0	5.0	5.0	240.	226.	326.	225.	
15	718.	1191.	2113.	84.	84.	484.	61.	7.6	7.7	11.0	7.0	460.	478.	690.	421.	
16	794.	670.	1212.	40.	41.	491.	37.	7.3	7.3	7.5	7.1	478.	384.	566.	415.	
17	459.	1171.	1171.	22.	18.	183.	31.									
18	688.	30.	4768.	30.	33.	388.	28.	10.0	10.0	9.5	10.0	474.	763.	453.		
19																
20	942.	65.	3520.	65.	70.	774.	63.	9.7	9.7	14.5	9.4	645.	1442.	593.		
21	534.	60.	858.	60.	76.	516.	59.	7.6	7.6	8.6	7.5	423.	707.	409.		
22	539.	66.	1033.	66.	76.	398.	59.									
23	670.	66.	1029.	66.	80.	498.	52.									
24	732.	60.	1278.	60.	74.	304.	52.									
25	817.	33.	1908.	33.	28.	548.	37.									
26	308.	54.	884.	54.	63.	299.	48.	6.2	6.2	6.7	6.1	387.	547.	347.		
27	1420.	18.	6145.	18.	11.	506.	34.	4.6	4.6	5.1	4.5	343.	421.	328.		

Tabell 9. Partikkelfordeling etter sedimenteringshastighet, ifølge analyseopplegg i appekdiks B.

INN-BEREGNET

KJØRING	0 - 1 MIN		1 - 3 MIN		3 - 7 MIN		7 - 15 MIN		15 - 30 MIN		30 - 60 MIN		60 - 116 MIN	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
18	391.	15.	295.	16.	114.	35.	124.	33.	122.	29.	25.	13.	36.	21.
19	250.	24.	53.	39.	41.	14.	39.	14.	42.	25.	68.	45.	85.	43.
20	229.	39.	142.	73.	82.	60.	136.	63.	101.	53.	50.	52.		
21	49.	69.	85.	81.	66.	58.	67.	61.	81.	55.	40.	45.		
22	66.	77.	65.	79.	48.	60.	62.	68.	69.	59.	39.	48.		
23	87.	88.	62.	79.	46.	64.	56.	63.	61.	61.	37.	37.		
24	104.	84.	62.	68.	32.	48.	49.	43.	42.	45.	77.	36.		
25	277.	24.	156.	27.	65.	28.	65.	38.	73.	27.	35.	41.		
26	52.	70.	56.	67.	36.	43.	36.	43.	35.	45.	59.	28.		
27	537.	11.	170.	23.	88.	25.	81.	29.	68.	31.				

O V E R - M Å L T

KJØRING	0 - 1 MIN		1 - 3 MIN		3 - 7 MIN		7 - 15 MIN		15 - 30 MIN		30 - 60 MIN		60 - 116 MIN	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
18	42.	17.	245.	16.	100.	38.	114.	34.	119.	29.	24.	13.	34.	21.
19	30.	45.	29.	33.	34.	15.	38.	14.	40.	26.	66.	45.	84.	43.
20	53.	74.	119.	78.	73.	61.	127.	64.	81.	53.	51.	52.		
21	34.	68.	80.	81.	64.	57.	66.	61.	81.	54.	37.	45.		
22	14.	39.	27.	62.	40.	53.	50.	66.	64.	58.	30.	50.		
23	18.	65.	35.	70.	38.	62.	51.	59.	56.	60.	27.	40.		
24	18.	51.	23.	57.	20.	41.	47.	39.	36.	41.	78.	38.		
25	39.	44.	74.	42.	51.	32.	54.	41.	63.	26.	32.	42.		
26	17.	38.	24.	54.	23.	46.	34.	43.	32.	45.	54.	31.		
27	19.	47.	71.	40.	58.	33.	65.	33.	62.	33.				

U T - M Å L T

KJØRING	0 - 1 MIN		1 - 3 MIN		3 - 7 MIN		7 - 15 MIN		15 - 30 MIN		30 - 60 MIN		60 - 116 MIN	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
18	5140.	15.0	974.	16.0	306.	23.0	260.	30.0	166.	33.0	84.	24.0	63.	19.
19	3473.	21.0	431.	9.7	153.	9.4	69.	10.5	68.	18.3	44.	14.8	96.	40.
20	2929.	29.0	502.	54.0	219.	57.0	281.	56.0	139.	48.0	99.	40.0		
21	395.	72.0	176.	82.0	102.	64.0	85.	72.0	86.	65.0	38.	50.0		
22	247.	85.0	202.	87.0	76.	73.0	105.	71.0	87.	63.0	45.	45.0		
23	431.	92.0	120.	85.0	64.	67.0	65.	69.0	73.	62.0	42.	45.0		
24	213.	88.0	111.	71.0	48.	52.0	51.	47.0	49.	39.0	38.	34.0		
25	1241.	22.0	489.	17.0	123.	22.0	111.	31.0	113.	29.0	75.	25.0		
26	227.	82.0	211.	75.0	66.	54.0	46.	44.0	48.	43.0	49.	36.0		
27	3214.	10.4	630.	13.6	241.	14.9	164.	19.7	100.	24.1	84.	19.3		

Tabell 10. Partikkelfordeling etter partikkelstørrelse, ifølge analyseopplegg i appendiks B.

KJØRING	PARTIKKELFORDDELING						INN-BEREGNET					
	2.1 ^{x)}		1.53 ^{x)}		1.08 ^{x)}		0.57 ^{x)}		0.22 ^{x)}		0.01 ^{x)}	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
11			39.	95.	29.	90.	30.	88.	16.	61.	100.	60.
12	102.	95.	82.	95.	52.	90.	46.	88.	30.	84.	47.	43.
15	100.	88.	54.	79.	74.	80.	92.	87.	66.	81.	51.	47.
17	12.		13.		16.		54.	18.	90.	10.	267.	33.
18	53.	90.	35.	71.	45.	70.	73.	45.	181.	15.	301.	18.

KJØRING	PARTIKKELFORDDELING						INN-MÅLT					
	2.1		1.53		1.08		0.57		0.22		0.01	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
11			59.0	69.0	12.0	27.0	27.0	53.0	20.0	47.0	84.0	62.0
12	102.0	62.0	124.0	92.0	97.0	93.0	70.0	86.0	24.0	45.0	41.0	54.0
15	190.0	91.0	227.0	94.0	197.0	94.0	98.0	91.0	73.0	82.0	49.0	53.0
17	15.0	75.0			0.4				10.0	24.0	532.0	17.0
18					0.4		5.1					

KJØRING	PARTIKKELFORDDELING						OVER-MÅLT					
	2.1		1.53		1.08		0.57		0.22		0.01	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
11			3.2		9.0		19.0		10.0	50.0	94.0	57.0
12	15.0	86.0	23.0	89.0	33.0	85.0	27.0	82.0	11.0	64.0	45.0	41.0
15	19.0	80.0	22.0	52.0	31.0	53.0	46.0	80.0	54.0	81.0	51.0	49.0
17	0.0		9.3		1.1		2.1	59.0	9.4	31.0	171.0	31.0
18	6.7	64.0	12.0	66.0	16.0	77.0	30.0	83.0	34.0	48.0	280.0	19.0

KJØRING	PARTIKKELFORDDELING						UT-MÅLT					
	2.1 ^{x)}		1.53 ^{x)}		1.08 ^{x)}		0.57 ^{x)}		0.22 ^{x)}		0.01 ^{x)}	
	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%	TOTALT FLYKTIG MG/L	%
11			162.0	82.0	46.0	77.0	40.0	71.0	21.0	65.0	105.0	60.0
12	317.0	96.0	376.0	96.0	144.0	95.0	139.0	94.0	120.0	92.0	51.0	54.0
15	381.0	89.0	262.0	93.0	328.0	95.0	369.0	93.0	140.0	82.0	52.0	38.0
17	44.0	78.0	41.0	49.0	54.0	34.0	187.0	17.0	327.0	8.0	515.0	16.0
18	581.0	94.0	353.0	74.0	433.0	66.0	660.0	22.0	2179.0	8.0	462.0	13.0

^{x)} ANGIR NETTÅPNING I MM