

Prosjektrapport

NORVAR'S faggruppe for vannforsyning

Filter som hygienisk barriere

Fase 3: Resultater fra pilotforsøk
og praktiske erfaringer fra vannverk

Norsk VA-verkforening

NORVAR-rapport

Norsk VA-verkforening

Postadresse: Vangsveien 143, 2300 Hamar

Besøksadresse: Vangsveien 143, Hamar

Telefon: 62 52 86 50

Rapportnummer:

67/96

Dato:

3. juni 1996

Antall sider (inkl. bilag)

24

Tilgjengelighet:

Åpen: X

Begrenset:

Rapportens tittel:

FILTER SOM HYGIENISK BARRIERE

Forfatter(e):

Ragnar Storhaug, Aquateam AS

Ekstrakt:

Gjennom pilotforsøk ved Aurevann vannrenseanlegg i Bærum kommune undersøkte vi om et konvensjonelt hurtigsandfilter kan fungere som hygienisk barriere.

Fordi både bakterier og virus er i stor grad knyttet til partikler, er fjerningen av koliforme bakterier sterkt knyttet til fjerningen av partikulært materiale.

En hygienisk barriere skal hindre at mikrobiologiske forurensninger og andre helsefarlige stoffer passerer. Selv om hurtigsandfiltre med korngradering 0.1 - 0.5 mm fjerner en betydelig andel koliforme bakterier, kan ikke sandfilteret karakteriseres som en hygienisk barriere.

Emneord, norske:

Vannforsyning, hurtigfiltrering,
mikroorganismer, hygienisk barriere

Emneord, engelske:

Water supply, rapid filtration,
microorganisms, hygienic barrier

Andre utgaver:

NORVAR-rapport 36/94, *Filter som hygienisk barriere*.

ISBN 82-414-0179-5

Forord

Prosjektet er organisert som et NORVAR spleiseprojekt med siv.ing. Asle Aasen som koordinator. Det er opprettet en prosjektgruppe som består av representanter fra bidragsyterne til prosjektet:

Dag Norum, Asker og Bærum vannverk
Sverre Mollatt, Vestfold Interkommunale Vannverk
Kjell A. Hafstad, Oslo Vann- og Avløpsverk
Svein P. Bakken, Gjøvik kommune
Halvard Kierulf, Trondheim kommune
Terje Wikstrøm, VAR-selskapet ILAS i Hamar-regionen
Ernst G. Hovland, VAR-selskapet IVAR i Stavanger
Arild Weholt, Skien kommune
Sven Ove Moen, Bodø kommune
Bjørn E. Strand, Glittrevannverket
Stein Ivar Ormsettrø, Næringsmiddeltilsynet i Asker og Bærum

Norges forskningsråd ved KOMTEK-programmet var med og delfinansierte prosjektet.

Foruten spleiselagsdeltakerne deltok Vidar Lund fra Folkehelse i prosjektmøtene. Aquateam AS ved dr.ing. Lars Hem og senere siv.ing. Ragnar Storhaug var utførende konsulent.

Vi vil spesielt takke de ansatte ved Aurevann vannrenseanlegg for innsatsen i forbindelse med gjennomføringen av prosjektet. Næringsmiddeltilsynet i Asker og Bærum fortjener også en takk for arbeidet med å analysere vannprøvene og annen oppfølging av prosjektet.

I prosjektet er det gjennomført 2 heldagsmøter og et avslutningsmøte med prosjektdeltakerne .

Hamar 3. juni 1996



Asle Aasen

Innhold

Sammendrag og konklusjoner	4
1 Innledning	6
2 Prosjektbeskrivelse	7
3 Beskrivelse av råvannskilde og pilotforsøk	8
3.1 Råvannskilde	8
3.2 Pilotanlegget	10
3.3 Beskrivelse av prøvetakingsopplegg	10
4 Resultater	12
4.1 Kvalitet på råvannet	12
4.2 Fjerning av turbiditet	13
4.3 Bakteriologiske parametre	14
4.3.1 Koliforme bakterier	14
4.3.2 Termotolerante koliforme bakterier	15
4.3.3 Kimtall	16
4.4 Driftsmessige forhold	16
4.5 Konklusjon	17
5 Praktiske erfaringer fra vannverk	18
6 Referanser	20
VEDLEGG Data fra forsøkskjøringen	21

Sammendrag og konklusjoner

Det er gjennomført pilotforsøk med et konvensjonelt hurtigsandfilter for å undersøke om et slikt filter kan fungere som en hygienisk barriere. Denne problemstillingen er aktuell for de vannverkene som har tilfredsstillende bakteriologisk kvalitet på råvannet i største delen av året, men som i forbindelse med sirkulasjonsperioder og/eller nedbør opplever korte perioder med høye verdier av f.eks. koliforme bakterier. I fase 1 av prosjektet ble det gjennomført et litteraturstudium (Weideborg et. al., 1994) som viste at det er oppnådd høy rensegrad mhp. bakterier i filtre med finkornig filtermasse (≤ 0.5 mm) og lav til moderat filtreringshastighet (≤ 5 m/time). Det er rapportert om opptil 99.9% reduksjon av koliforme bakterier, og over 99.9% reduksjon av *Giardia*. Reduksjonen av den relativt store organismen *Giardia* er særlig interessant siden organismer av denne størrelsen, f.eks. *Cryptosporidium*, er vanskelig å drepe med tradisjonelle desinfeksjonsmetoder.

Pilotforsøkene har foregått ved Aurevann vannrenseanlegg i Bærum kommune. Det er gjennomført i to perioder med følgende korngraderinger på sandfilteret:

- Forsøksperiode 1: 0,1 - 0,5 mm
- Forsøksperiode 2: 0,4 - 0,6 mm

I store deler av forsøksperioden var konsentrasjonen av koliforme bakterier i råvannet fra Aurevann meget lav. Samtidig med oppstartingen av forsøksperiode 1 kom det mye nedbør etter en lang tørkeperiode. Konsentrasjonen av alle bakteriologiske parametre økte. I forsøksperiode 2 var innholdet av koliforme bakterier så lavt at det ikke gir tilstrekkelig grunnlag til å vurdere effekten av filteret.

Fordi både bakterier og virus i stor grad er knyttet til partikler, er fjerningen av koliforme bakterier nær knyttet til fjerningen av partikulært materiale, målt som turbiditet.

I forsøksperiode 1 oppnådde man en renseeffekt i filteret i området 58-94% mhp. fjerning av koliforme bakterier. Den ble oppnådd ved en filtreringshastighet på 1,5 m/time. Alle prøver av spylevannet inneholder >23 koliforme bakterier pr. 100 ml. Dette viser at filteret fjerner koliforme bakterier i begge forsøksperioder, selv om liten reduksjon av koliforme bakterier ble registrert i periode 2.

Pilotanlegget ble tilbakespylt 1 gang pr. uke. Det ble benyttet lav tilbakespylingshastighet for ikke å miste sand.

På grunnlag av pilotforsøkene kan det trekkes følgende konklusjoner:

- Forsøkene viser at det opptrer en betydelig fjerning av koliforme bakterier i sandfilteret når det benyttes korngradering 0,1 - 0,5 mm. Det foreligger ingen klar definisjon av hva en hygienisk barriere er, i form av tallfestede verdier, men en hygienisk barriere skal hindre at mikrobiologiske forurensninger og andre helsefarlige stoffer passerer. Vurdert opp mot en slik definisjon kan ikke sandfilteret karakteriseres som en hygienisk barriere, selv ikke ved de laveste filtreringshastighetene som ble benyttet (1,5 m/time). Imidlertid er turbiditetsreduksjonen over filteret meget positiv med tanke på den etterfølgende desinfeksjonsprosessen.
- Lave filtreringshastigheter og usikkerhet knyttet til effekten av tilbakespylingen gjør at det er mindre aktuelt å gå over til filter med denne korngraderingen på fullskala vannverk.

I dette prosjektet er det også innhentet bakteriologiske analyseresultater fra 3 vannverk med sandfilter og 7 vannverk med alkaliske filter. På samtlige anlegg er det tatt prøver før og etter filter, men før desinfeksjon.

- På samtlige anlegg med sandfilter er konsentrasjonen av koliforme bakterier i råvannet lav. Det er derfor ikke grunnlag for å trekke konklusjoner om filteret fungerer som en hygienisk barriere.
- Et alkalisk filter vil ikke fungere som en hygienisk barriere, men anleggene er inkludert fordi det sjelden tas bakteriologiske analyser før og etter filter (før desinfeksjon). De alkaliske filtrene har vanligvis et høyere kimtall etter filteret enn det opprinnelig var i råvannet. Dette kan ha sammenheng med utilfredsstillende tilbakespyling, eventuelt at de miljømessige forholdene er gunstige for biologisk vekst i filteret. Økningen i kimtallet anses ikke som noe hygienisk problem, men det er behov for å gjennomføre undersøkelser for å klarlegge sammenhengen mellom kimtall, filterutforming, råvannskvalitet og driftsform.

1 Innledning

I § 15 i "Forskrift om vannforsyning og drikkevann m.m." (Sosial- og helsedepartementet, 1995) står det blant annet:

"Vannbehandlingen skal sikre at vann fra godkjenningsspliktige vannforsyningssystemer er hygienisk betryggende. Vannbehandlingsprosessene skal være tilpasset den aktuelle råvannskvalitet, forholdene i tilsigsområdet, materialene i og utformingen av transport-systemet". Dette kravet om hygienisk sikring innebærer at det totalt i vannforsynings-systemet (tilsigsområde/vannkilde og vannbehandlingsanlegg) til sammen må være minimum to hygieniske barrierer. I denne sammenheng betyr begrepet "barriere" et tiltak eller prosess som har til hensikt å hindre at mikrobiologisk forurensning og andre helsefarlige stoffer passerer.

En hygienisk barriere kan være (Statens Institutt for Folkehelse, 1987) :

- tiltak for å hindre tilførsel av smittestoffer og andre helseskadelige stoffer til vanninntaket.
- fjerning eller ødeleggelse av smittestoffer og andre helseskadelige stoffer i vannbehandlingsanlegget.

To hygieniske barrierer kan være innebygget i selve vannbehandlingsprosessen. Prosessene må være av ulik karakter og virke uavhengig av hverandre, slik at forurensningen angripes fra ulik vinkel. Kjemisk felling og desinfeksjon, evt. med filtrering gjennom aktivert karbon, blir ansett som to hygieniske barrierer. Den ene barrieren fjerner bakteriene gjennom en fysisk-kjemisk prosess, mens den andre dreper bakteriene. Dobbeltklorering blir imidlertid ikke ansett som tilfredsstillende hygienisk sikring. De bakteriene som ikke lar seg knekke med klor, forventes ikke å bli drept ved annen gangs klorering.

Mange av våre vannverk har gjennomgående god råvannskvalitet. Bortsett fra parametre som relateres til korrosjonskontroll (pH, Ca, alkalitet), har råvannet fra disse vannverkene en kvalitet som tilfredsstiller forskriften. I kortere perioder av året, gjerne i forbindelse med vår og/eller høstsirkulasjon, vil imidlertid mange av disse råvannskildene oppleve forhøyede bakterietall (også termotolerante koliforme bakterier) og høyere turbiditet.

En del av disse vannverkene benytter tradisjonelle hurtigsandfilter som en del av renseprosessen. Det er av stor interesse å få avklart om sandfilteret kan ansees som en hygienisk barriere, slik at filtrering sammen med desinfeksjon ansees som en tilfredsstillende vannbehandling. Ved Vestfold interkommunale vannverk er det rapportert om liten bakterie-reduksjon også i sandfilter med 1-2 mm sand. (Weideborg et.al., 1994). Dette vil være av stor betydning for å sikre en hygienisk tilfredsstillende vannkvalitet også i perioder med høyt innhold av bakterier i råvannet.

2 Prosjektbeskrivelse

Hovedmålet med prosjektet har vært å undersøke om filtrering som normalt benyttes for fjerning av turbiditet, også kan fungere som hygienisk barriere i perioder med dårlig hygienisk kvalitet på råvannet. Det er gjennomført pilotforsøk ved Aurevann vannrenseanlegg. Pilotforsøkene skal gi svar på om tradisjonell hurtigfiltrering kan fungere som en uavhengig hygienisk barriere, og hvis så er tilfelle skal følgende spørsmål besvares:

- hvilke korgraderinger må filtermassen ha for at filteret skal kunne fungere som en hygienisk barriere?
- Hvordan skal filteret drives mht. filtreringshastighet og tilbakespylingsrutiner for at filteret skal fungere som en hygienisk barriere?

Prosjektet er gjennomført som et spleiseprojekt med økonomisk støtte fra følgende vannverk:

- Vestfold interkommunale vannverk (VIV)
- Asker og Bærum vannverk (ABV)
- Oslo vann og avløpsverk (OVA)
- Gjøvik kommune
- Trondheim kommune
- Hedemarken Interkommunale VAR-selskap (HIAS)
- Bergen kommune, VA-seksjonen
- IVAR
- Skien kommune
- Bodø kommune
- Glitrevannverket

Aquateam - Norsk vannteknologisk senter A/S har bidratt med utlån av pilotanlegg. Næringsmiddeltilsynet i Asker og Bærum har bidratt med bakteriologiske analyser, og Bærum vannverk har stått for drift og oppfølging av pilotanlegget, ansvarlig for oppfølgingen har vært Jens Grønning.

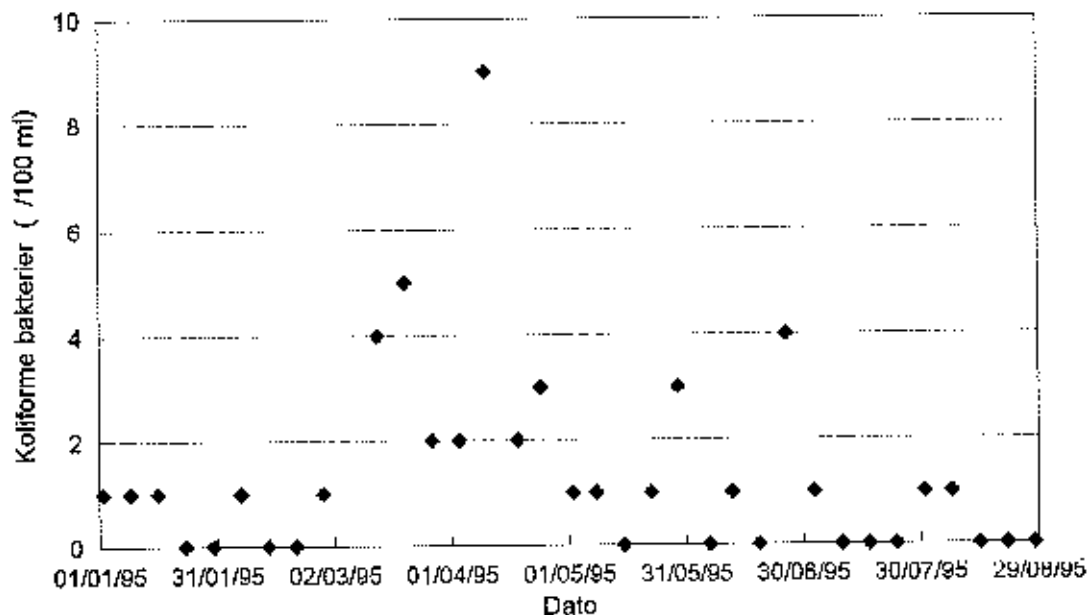
3 Beskrivelse av råvannskilde og pilotforsøk

3.1 Råvannskilde

Aurevann er en del av Trehøringenvassdraget som sammen med Heggelivassdraget utgjør nedbørfeltet til Bærum vannverk. Samlet areal for nedbørfeltet er på 35 km². Aurevann vannbehandlingsanlegg er lokalisert ca. 2 km nord for Bye i Lommedalen i Bærum kommune. Det er bygget en dam slik at samlet utnyttbart magasin for Aurevann er 2 mill. m³. Vanninntaket i Aurevann ligger ca. 100 m ut fra den østre enden av vannet. Inntaket er plassert ca. 13.5 m under høyeste regulerte vannstand. Det er ikke mulig å variere inntaksdypet.

I nedbørfeltet er det få hytter. Det er av og til observert noe sau og storfe, og i tillegg foregår det en del ridning. I første rekke blir området benyttet som rekreasjonsområde både sommer og vinter. Klausuleringsbestemmelsene for Trehøringenvassdraget forbyr bading, samt leirslagning nærmere enn 100 m fra strandkanten. Fiske er tillatt med unntak av Aurevann.

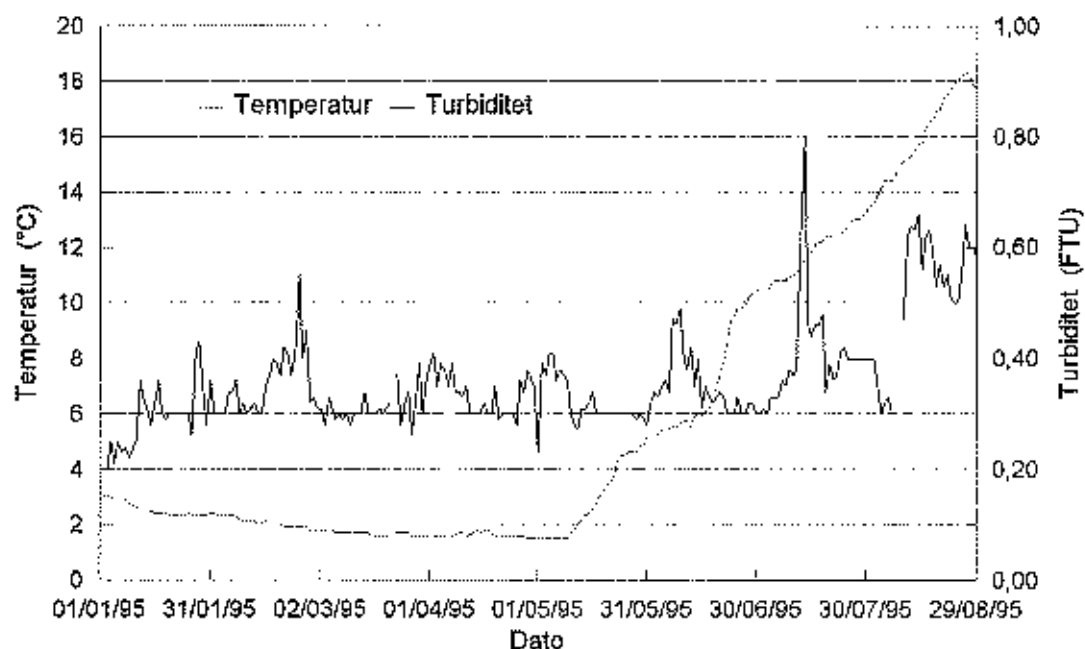
I sirkulasjonsperiodene, normalt vår og høst, er det økning i bakterietallene. Figur 3.1 viser innholdet av koliforme bakterier i råvannet i perioden 01.01.95 og fram til 01.09.95, dvs. de siste 8 månedene før pilotforsøkene startet. Det er tatt prøver 1 gang per uke av råvannet.



Figur 3.1 Innholdet av koliforme bakterier i råvann fra Aurevann, perioden 01.01.95 - 01.09.95

Maksimalt innhold av koliforme bakterier i denne perioden er 9 pr. 100 ml. Det viser at vannkilden i denne perioden har vært lite påvirket av bakteriell forurensning. Det gjorde forsøkskjøringen problematisk at råvannet i lange perioder hadde så god kvalitet at det har vært vanskelig å registrere noen renseeffekt av filtreringen.

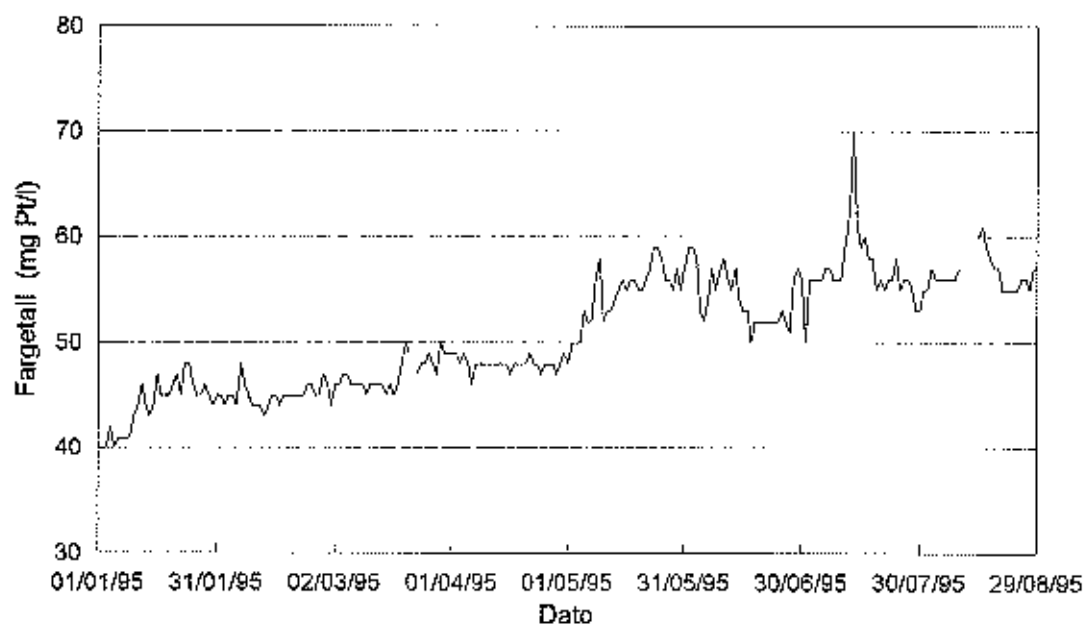
Inntaket i Aurevann ligger på ca 13.5 m dyp. Dette gir seg utslag i store temperaturvariasjoner på årsbasis. I figur 3.2 er temperatur og turbiditet for samme periode vist.



Figur 3.2 Temperatur og turbiditet i råvann fra Aurevann i perioden 01.01.95 - 01.09.95 (daglige stikkprøver)

Maksimaltemperaturen i perioden var 18,3 °C. Turbiditeten har en middelerdi i perioden på 0,36 FTU. I sommerperioden øker turbiditeten slik at middelerdien i perioden juli og august er 0,46 FTU. Dette er som forventet i en grunn innsjø. Økning i algerengde og tilførsel av partikulært materiale som følge av nedbør er hovedfaktorene som medfører økning i turbiditeten.

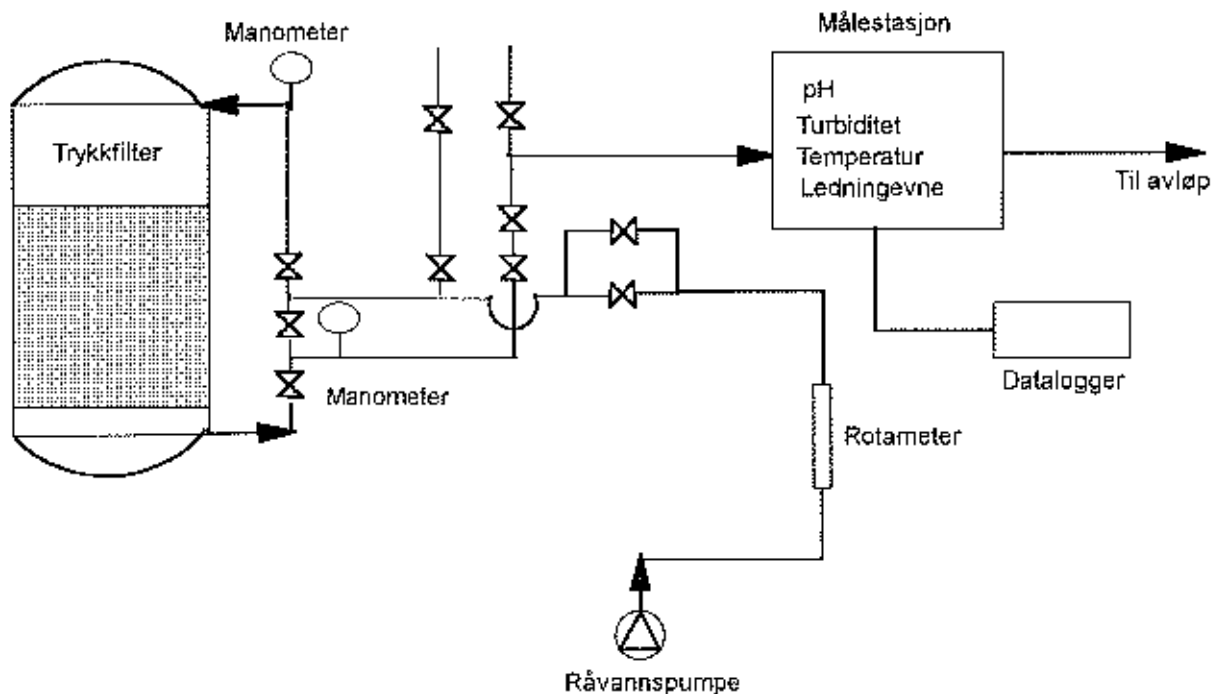
Fargetallet (ufiltrert) følger tilnærmet samme mønster som turbiditeten. Midlere fargetall i perioden er 51 mg Pt/l. I juli og august var imidlertid midlere fargetall på 57 mg Pt/l. Figur 3.3 viser variasjonen i fargetall i perioden 01.01.95 til 01.09.95.



Figur 3.3 Fargetall (ufiltrert) i råvann fra Aurevann i perioden 01.01.95 - 01.09.95 (daglige stikkprøver)

3.2 Pilotanlegget

Forsøksanlegget har vært plassert i vannbehandlingsanlegget til Bærum vannverk på Aurevann. Forsøksanlegget har bestått av et nedstrøms trykfilter med overflate 0,11 m². Selve filtersengen har en høyde på 0,7 m. Råvann til filteret pumpes fram fra inntakskanalen til hovedvannverket. Figur 3.4 viser flytskjema for pilotanlegget.



Figur 3.4 Flytskjema for pilotanlegget

Filtermassen besto av et bære- og støttelag etterfulgt av filtersand. I pilotforsøkene ble det benyttet to ulike korngraderinger på filtersanden:

	<u>Forsøksperiode</u>	<u>Korngradering</u>
Forsøksperiode 1,	06.09.95 - 28.09.95	0,1 - 0,5 mm
Forsøksperiode 2,	30.09.95 - 09.11.95	0,4 - 0,6 mm

Etter filtrering passerte vannet en målestasjon der pH, temperatur, ledningsevne og turbiditet ble målt automatisk.

3.3 Beskrivelse av prøvetakingsopplegg

Den ordinære driften av Bærum vannverk inkluderer blant annet daglig måling av farge, turbiditet, temperatur og pH. Det tas også ut prøver for bakteriologisk analyse 1 gang pr. uke. Tabell 3.1 viser en sammenstilling av analyseprogrammet som er benyttet ved forsøkskjøringen.

Tabell 3.1 Prøvetakingsprogram i forsøksperioden

Prøvepunkt	Parameter	Hyppighet	Analysessted
Råvann	pH	Daglig	Driftslaboratoriet på Aurevann
	Turbiditet		
	Farge		
	Temperatur		
	Koliforme bakterier	2 ganger pr. dag	Næringsmiddeltilsynet i Asker og Bærum
	Termotolerante koliforme bakterier	2 ganger pr. uke	
	Kimtall 3 døgn, 20 °C		
	Kimtall 7 døgn, 20 °C		
Filtrert vann	Turbiditet	Daglig	Driftslaboratoriet på Aurevann
	Turbiditet	2 ganger pr. uke	Næringsmiddeltilsynet i Asker og Bærum
	Turbiditet	Kontinuerlig	Automatisk målestasjon
	Ledningsevne		
	pH		
	Temperatur		
	Koliforme bakterier	2 ganger pr. dag	Næringsmiddeltilsynet i Asker og Bærum
	Termotolerante koliforme bakterier	2 ganger pr. uke	
	Kimtall 3 døgn, 20 °C		
	Kimtall 7 døgn, 20 °C		
Spylevann	Koliforme bakterier ¹⁾	Enkelte tilbakespylinger	

¹⁾ Rørmetode (MPN)

¹⁾ Rørmetode (MPN)

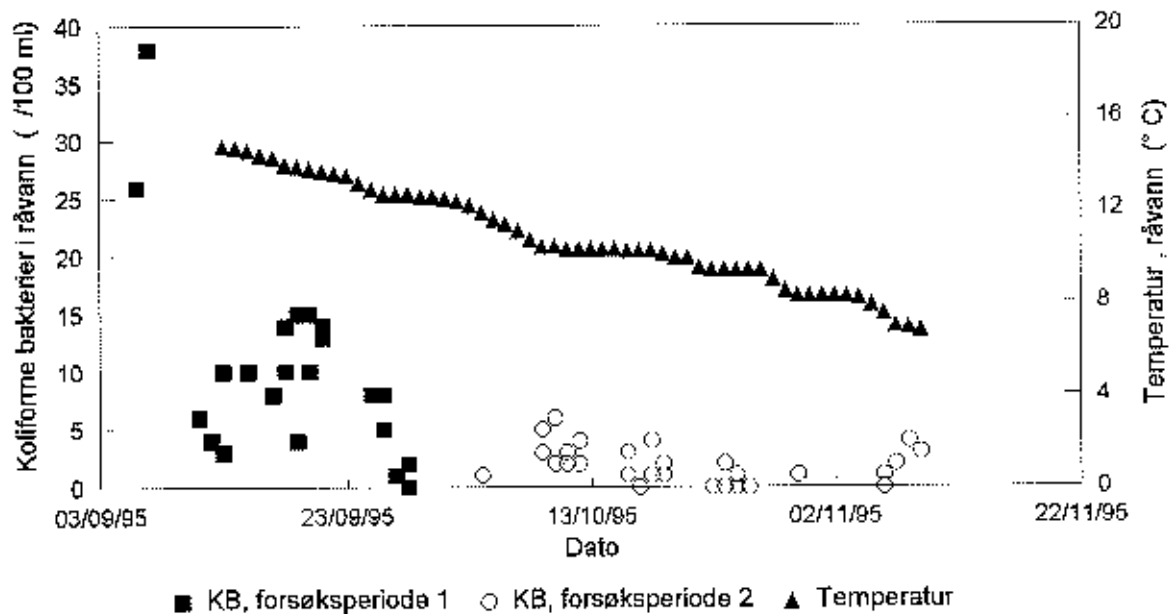
Vannføringen ble kontrollert 2 ganger pr. dag ved hjelp av bøtte og stoppeklokke. Manometeret før og etter filteret ble også avlest 2 ganger pr. dag. De bakteriologiske prøvene ble tatt ut om morgenen ca. kl. 08.00 og om ettermiddagen ca. kl. 14.00. ettermiddagsprøvene ble lagret på Aurevann fram til neste morgen. Prøvene ble da fraktet ned til laboratoriet sammen med dagens morgenprøver.

Den automatiske målestasjonen ble primært benyttet for kunne overvåke filteret i tilfelle gjennombrudd eller andre hendelser som raskt ville kunne påvirke vannkvaliteten. Som det framgår av tabellen ble det analysert for turbiditet både på den automatiske målestasjonen, i driftslaboratoriet på Aurevann og hos Næringsmiddeltilsynet. Dette ble gjort for å kunne kontrollere påliteligheten av de automatiske målingene.

4 Resultater

4.1 Kvalitet på råvannet

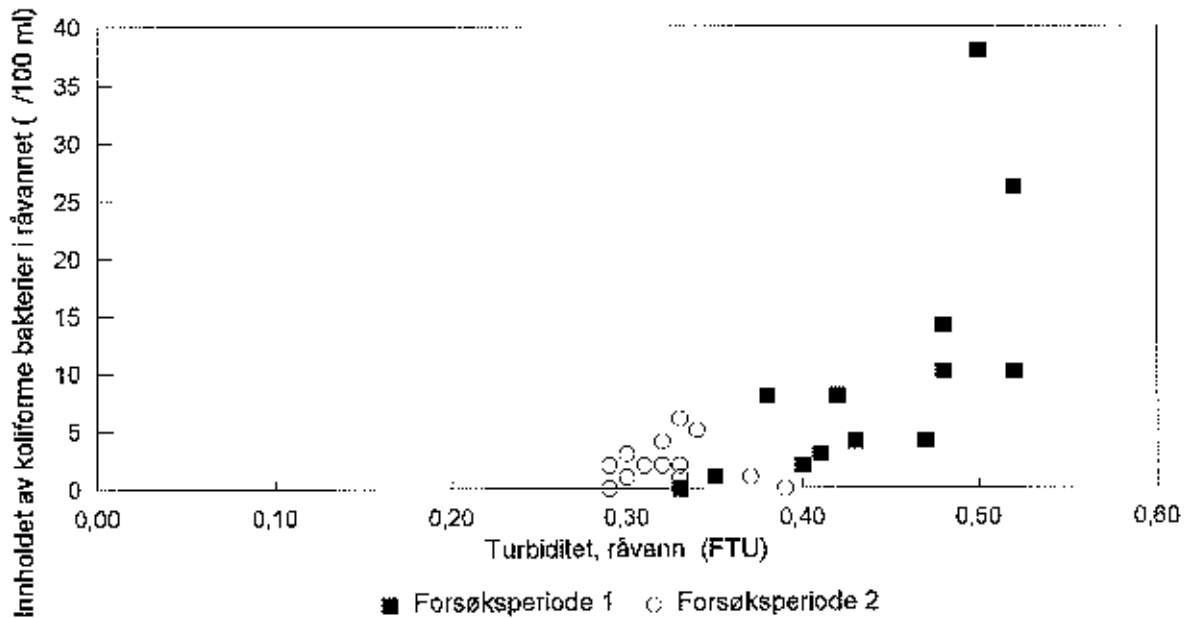
Forsøksperiode 1 startet 6. september. I forkant av dette hadde det vært 5 dager med sterk nedbør. Nedbøren fortsatte fram til 16. september.



Figur 4.1 Innholdet av koliforme bakterier (KB) og temperaturen på råvannet i de to forsøksperiodene

Fra 4. august og fram til 1. september ble det registrert 0.3 mm nedbør, mens det i perioden 2. september til 16. september ble registrert 88.3 mm nedbør. Figur 4.1 viser innholdet av koliforme bakterier og temperaturen på råvannet i de to forsøksperiodene

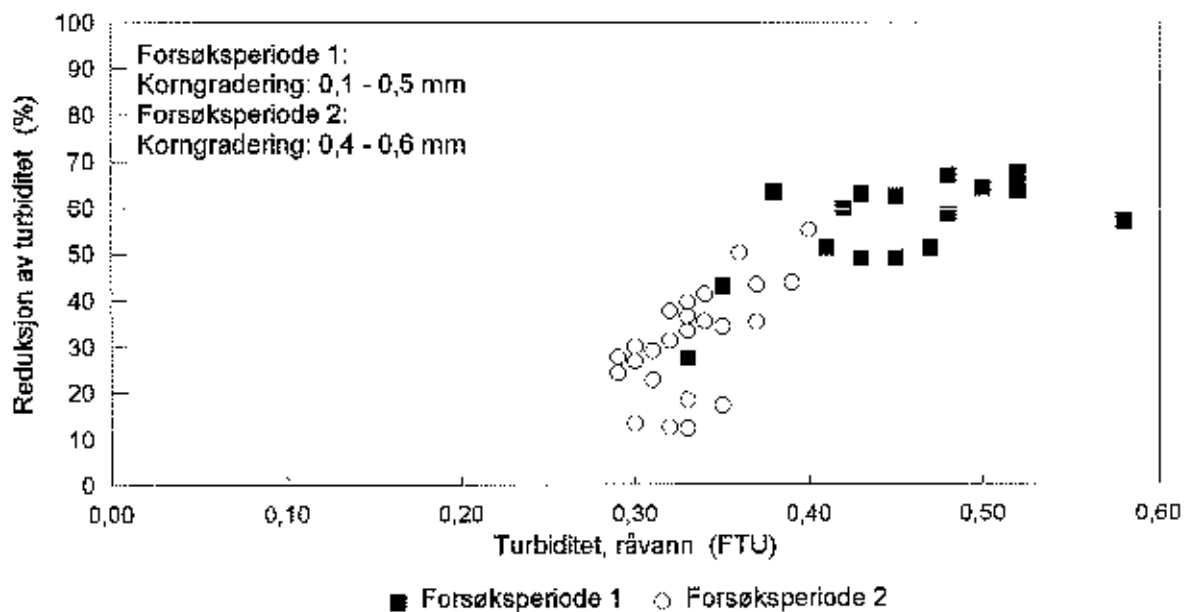
Det var en kraftig økning i innholdet av koliforme bakterier ved starten av forsøksperiode 1. Deretter falt innholdet av koliforme bakterier til under 5 pr. 100 ml. Dette medførte problemer for forsøksgjennomføringen i og med at konsentrasjonen i innløpet til filteret ble så lav. Turbiditeten viser samme forløp, så det er klart at bakteriene i stor grad er knyttet til partikler. Figur 4.2 viser sammenhengen mellom turbiditeten i råvannet og innholdet av koliforme bakterier.



Figur 4.2 Sammenhengen mellom turbiditet i råvann og innholdet av kolloidale bakterier

4.2 Fjerning av turbiditet

Den høyeste turbiditeten ble registrert i starten på forsøksperiode 1. Den høyeste renseeffekten ble oppnådd ved de høyeste turbiditetsverdiene, > 50% fjerning ved turbiditet på råvann > 0,4 FTU. Ved lavere turbiditet ble renseeffekten raskt redusert ned mot 10%. Figur 4.3 viser sammenhengen mellom fjerning av turbiditet og turbiditeten i råvannet.



Figur 4.3 Sammenhengen mellom fjerning av turbiditet og turbiditeten i råvannet

Som en følge av at råvannskvaliteten varierte betydelig mellom de to forsøksperiodene var det ikke mulig å kjøre begge korngraderinger med den samme råvannskvaliteten. Figur 4.3 indikerer at råvannsturbiditeten er avgjørende for fjerningen av turbiditet.

Tabell 4.1 viser midlere fjerning av turbiditet i ulike deler av hver forsøksperiode, sortert etter overflatebelastning på hurtigsandfilteret.

Tabell 4.1 Midlere verdier for %-vis fjerning av turbiditet

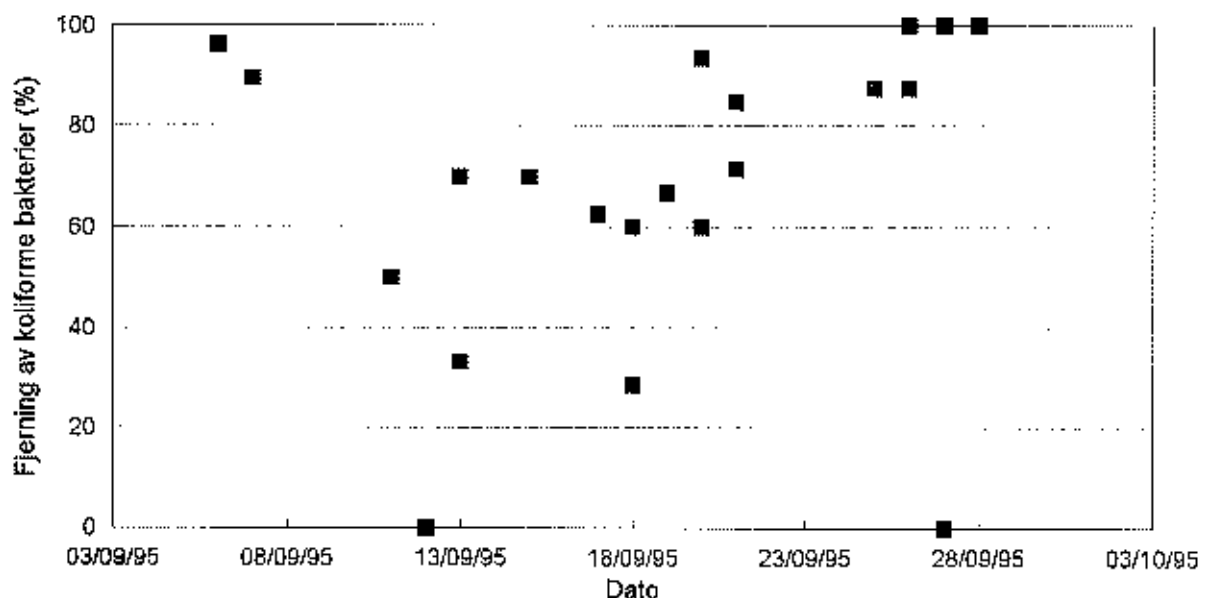
	Filtreringshastighet (m/time)	Turbiditet råvann (FTU)	Turbiditet rentvann (FTU)	%-fjerning (%)
Forsøks- periode 1	1.6	0.39	0.16	56
	3.7	0.46	0.20	57
	5.7	0.37	0.24	27
Forsøks- periode 2	3.1	0.31	0.23	27
	4.5	0.36	0.21	41
	5.4	0.33	0.22	32
	6.1	0.34	0.21	40

Turbiditeten på rentvannet varierer lite i løpet av begge forsøksperiodene. Middelverdien for forsøksperiode 1 og 2 er hhv. 0.20 FTU og 0.22 FTU. Med utgangspunkt i råvannsturbiditeten som er benyttet, så fungerer begge korngraderingene tilfredsstillende. Det er lite å hente mhp. turbiditetsfjerning ved å redusere filtreringshastigheten. Resultatene fra laveste filtreringshastighet indikerer dette. Gjennomsnittlig turbiditet i rentvannet er 0.04 FTU lavere når filtreringshastigheten halveres og er 1.6 m/time.

4.3 Bakteriologiske parametre

4.3.1 Koliforme bakterier

Figur 4.1 viser at innholdet av koliforme bakterier i forsøksperiode 2 var betydelig lavere enn i forsøksperiode 1. Det er bare dataene for forsøksperiode 1 som gir grunnlag for å vurdere fjerningen i filteret. Figur 4.4 viser %-vis fjerning av koliforme bakterier i løpet av forsøksperiode 1.



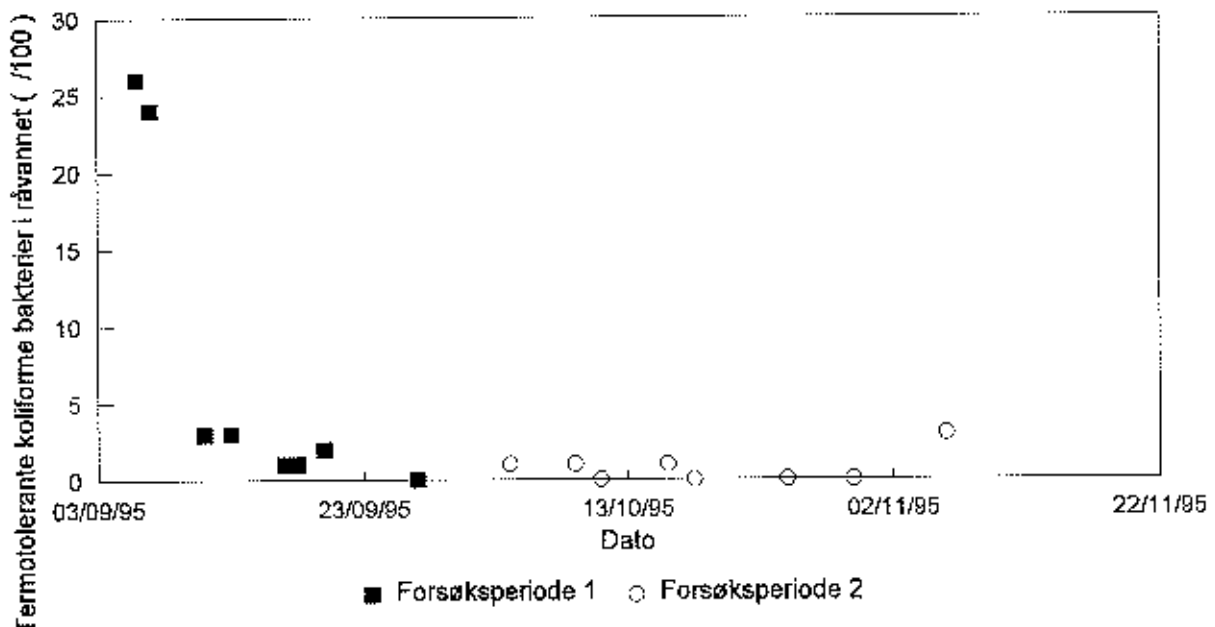
Figur 4.4 %-vis fjerning av koliforme bakterier i forsøksperiode 1

Resultatene viser en betydelig spredning. I perioden 13.09.95 - 21.09.95 (11 prøver) var midlere innhold av koliforme bakterier 11 pr. 100 ml. I denne perioden ble det oppnådd 58% fjerning av koliforme bakterier. Midlere filtreringshastighet i denne perioden var 3.7 m/time. I perioden 25.09.95 - 27.09.95 (4 prøver) var midlere innhold av koliforme bakterier 8 pr. 100 ml, det ble oppnådd 94% fjerning av koliforme bakterier. Midlere filtreringshastighet i denne perioden var 1.5 m/time. Dette er i samsvar med observert fjerning av turbiditet som er vist på figur 4.3. Maksimal fjerning av turbiditet ble også oppnådd ved den laveste filtreringshastigheten, men for turbiditeten ble bare marginale forbedringer oppnådd. Turbiditeten er i prinsippet et svært grovt mål for partikler. Antageligvis er bakteriene i hovedsak knyttet til de minste partiklene. Disse har det største arealet. Bakterier og virus er ofte festet til partikler slik at dersom disse fjernes, fjernes også bakterier og virus som er festet til partiklene.

Samtlige analyser av spylevann både fra forsøksperiode 1 og fra forsøksperiode 2 (i alt 4 prøver) viser at innholdet av koliforme bakterier er høyere enn 23 pr. 100 ml (øvre grense for røretoden). Dette viser at det foregår en tilbakeholdelse av koliforme bakterier i filteret, selv om det er vanskelig å påvise dette i disse forsøkene.

4.3.2 Termotolerante koliforme bakterier

Bortsett fra i starten på forsøksperiode 1, så inneholder råvannet lave konsentrasjoner av termotolerante koliforme bakterier, i perioder knapt påviselig. Figur 4.5 viser konsentrasjonen av termotolerante koliforme bakterier i råvannet. Alle bakterieprøvene er stikkprøver. Vi har derfor problemer med å vite hvor store og hurtige variasjoner vi har i råvannet. Figur 3.2 viser daglige stikkprøver av turbiditeten i råvannet. Variasjonen fra dag til dag er forholdsvis stor. Det kan forventes at bakterietallene varierer på en tilsvarende måte.

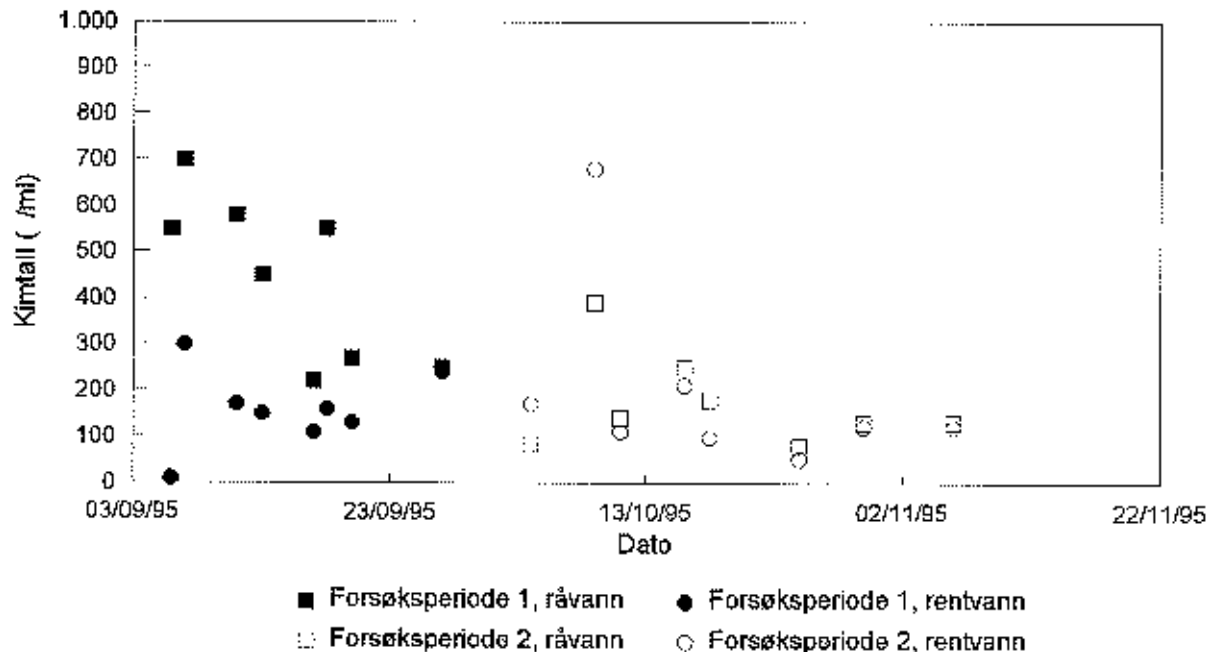


Figur 4.5 Termotolerante koliforme bakterier i råvann

I begge forsøksperiodene varierte imidlertid innholdet av termotolerante koliforme bakterier mellom 0 og 3. To prøver fra starten på forsøksperiode 1 viser hhv. 26 pr. 100 ml og 24 pr. 100 ml. Innholdet av termotolerante koliforme bakterier i filtrert vann er hhv. 1 og 4. Størrelse- og ladning av bakteriene tilsier at det ikke kan forventes noen forskjell i fjerning av termotolerante koliforme bakterier i forhold til koliforme.

4.3.3 Kimtall

Det høyeste nivået for kimtallet var ved starten av forsøksperiode 1. Den sannsynlige årsaken her er den lange tørkeperioden som var forut for en periode med sterk nedbør. Figur 4.6 viser kimtallet i hhv. råvann og rentvann i forsøksperiode 1 og 2.



Figur 4.6 Kimtall i råvann og rentvann i de to forsøksperiodene

I forsøksperiode 1 var det en reduksjon på 53% av kimtallet over filteret. I forsøksperiode 2 er det mindre forskjell i kimtall mellom råvann og rentvann. Midlere reduksjon av kimtall over filteret var 22%. Forløpet av kimtallet er i overensstemmelse med den observerte fjerningen av turbiditet. I tillegg kan det over tid bygges opp en stabil kultur med bakterier i filteret. Resultatene i figur 4.5 tyder på at så er tilfellet. Filteret ble ikke klorert i løpet av forsøksperioden. Ved oppstart av forsøksperiode 1 kunne man ikke påvise bakterier, målt som kimtall i rentvannet. Ut over i forsøksperioden, øker kimtallet i rentvann.

4.4 Driftsmessige forhold

Bruk av filtersand med så fin gradering som 0.1 - 0.5 mm og 0.4 - 0.6 mm krever stor forsiktighet med tilbakespylingen for å hindre tap av sand. Slik filteret er bygget opp, er hensiktsmessige tilbakespylingshastigheter for ulike vanntemperaturer og korngraderinger vist i tabell 4.2.

Tabell 4.2 Teoretiske tilbakespylingshastigheter ved ulike temperaturer

Korngradering (mm)	Temperatur (°C)	Tilbakespylingshastighet (m/time)
0.1-0.5	5	14
	20	18
0.4-0.6	5	25
	20	20

Ved pilotforsøkene ble det benyttet lavere tilbakespylingshastigheter enn de teoretisk beregnede. I forsøksperiode 1 ble det benyttet en tilbakespylingshastighet på ca. 13 m/time, mens det i periode 2 ble benyttet ca. 20 m/time. Dette ble gjort av forsiktighetsgrunner. I begge forsøksperiodene ble filteret tilbakespylt ca. 1 gang pr. uke. Tilbakespylingen pågikk ca. 20-30 minutter, eller til spylevannet var klart.

Pilotforsøkene gir ikke svar på effekten av de lave tilbakespylingshastighetene over tid. For dårlig tilbakespyling kan medføre at det akkumuleres slam i filteret. Ved fullskala drift er sannsynligvis det å oppnå en effektiv tilbakespyling uten å spyle ut filtersand, det største problemet. Derfor benytter mange vannverk en kombinasjon av luft og vann ved tilbakespylingen. Det er gjennomført mange internasjonale FoU prosjekter og mye praktiske driftserfaringer eksisterer omkring optimalisering av filtermedium, filtreringshastigheten og tilbakespylingsprosessen. Generelt er nok erfaringen at en ved å ha muligheten for å kombinere luft og vann i ulike forhold, vil kunne løse de fleste tilbakespylingsproblemer. Erfaringer med så fine korngraderinger som er benyttet i denne undersøkelsen er imidlertid begrenset.

4.5 Konklusjon

De gjennomførte pilotforsøkene viser at man oppnår en betydelig fjerning av koliforme bakterier i sandfilteret med små korngraderinger 0.1-0.5 mm (58-94%). Begrepet hygienisk barriere er ikke definert f.eks. i form av en nødvendig prosentvis fjerning av de spesifikke bakteriologiske parametrene. Det må likevel forventes at for at et filter skal fungere som en hygienisk barriere, så må man oppnå en mer effektiv fjerning enn resultatene fra pilotforsøkene viser. Reduksjonen av turbiditeten over filteret er svært positiv med tanke på den etterfølgende desinfeksjonsprosessen.

Det er et klart behov for å finne fram til en nærmere presisering av hva som ligger i begrepet hygienisk barriere. I et slikt arbeid for å finne fram til en akseptabel presisering, er det imidlertid behov for en bredere forståelse av hvordan ulike vannrenseprosesser virker mhp. bakteriefjerning. I studier knyttet til fysisk/kjemiske prosesser kan fjerningen av partikler i den aktuelle størrelsen studeres. I typiske norske vannverk med lave bakterietall, kan det være aktuelt å simulere problemene med bruk av tilsetning av partikler i den aktuelle størrelsen. Arbeidet krever imidlertid telling av de minste partikkelfraksjonene ned mot 0.5 µm.

Den største reduksjonen av koliforme bakterier er oppnådd med den fineste korngradering 0.1-0.5 mm og en filtreringshastighet lik 1.5 m/time. I eksisterende vannverk er denne filtreringshastigheten vanligvis for lav til å opprettholde nødvendig produksjonskapasitet. Driftsmessig knytter det seg også mange spørsmål til om det er mulig å få effektiv tilbakespyling på et fullskala vannverk.

5 Praktiske erfaringer fra vannverk

Fase 1 i prosjektet har også omfattet innsamling av data fra vannverk. Det viste seg at få vannverk hadde relevante data. Bare fra Vestfold interkommunale vannverk forelå det resultater fra prøvetaking før og etter filter. Analyser på bakteriologiske parametre etter filtrering, men før desinfeksjon blir sjelden gjennomført rutinemessig. I forbindelse med fase 3 av prosjektet ble det derfor gjort en henvendelse til en del vannverk både med konvensjonelle sandfilter og med alkaliske filter. Vannverkene ble oppfordret til å gjennomføre 3 prøvetakingsomganger med analyse av bakteriologiske parametre. Tabell 5.1 viser hvilke vannverk som er inkludert i denne delen av undersøkelsen.

Tabell 5.1 Oversikt over vannverk som har gjennomført prøvetaking for bestemmelse av bakteriefjerning over filtre

Type filter	Kommune	Vannverk	Råvannskilde	Inntaksdyp (m)	Antall filter/areal pr. filter (m ²)	Type filtermasse/korngradering (mm)	Årlig vannproduksjon (1000 m ³ /år)	Ant. spyl pr. uke	Spyletid (min)	Tilbake-spylingshastighet (m/time)
Alkalisk	Eigersund	Eigersund	Kråkevann/ Holmavann	16	5/11	Marmor /1-3	2545	7	8	72
	Fræna	Herskaret	Herskaret	9	3/10	Marmor/1-3	-	7	3-5	70
	HIAS ¹⁾	Hamar	Mjøsa	160	1/20	Marmor	750	1	7	45
	Molde	Fannefjord	Kjøppavath	15	3/4.8	Marmor /2	630	7	6	82
	Mandal	Skadberg	Skadbergvann	40	3/11	Marmor /2-5	1500	7	5	40
	Tvedestrand	Tvedestrand	Østeråvann	16	4/8	Marmor /1.5-3.0	980	7	3	50
	Ørsta	Ørsta	Vasskoppvatn	7	3/11	Marmor /1-3	1500	2	6	78
Sand	Gjøvik	Gjøvik	Mjøsa	54	11/11	Synopal / ²⁾	5000	1	10	-
	HIAS	Hamar	Mjøsa	160	5/20	Sand / 1	3750	1	7	45
	Klæbu	Svean								

¹⁾ Hedmarken Interkommunale VAR-selskap. 1 av 6 filter kjøres som alkalisk filter etter at forsøksperioden er avsluttet

²⁾ Synopal er et filtermateriale produsert på basis av sand, kritt og dolomitt. Sikteprøve av ubrukt filtermasse viser 28.5% < 2 mm - > 1 mm, 70.4% < 0.55 mm - > 0.25 mm, 1.1% < 0.25 mm

Tabell 5.1 viser at det er en overvekt av alkaliske filter som inngår i undersøkelsen. Denne type filter har aldri vært ansett som noen hygienisk barriere, men de er likevel inkludert i undersøkelsen fordi det ellers foreligger forholdsvis lite data for bakteriologiske parametre før og etter et alkalisk filter på fullskala anlegg. Tabell 5.2 viser resultater fra gjennomført prøvetaking.

Tabell 5.2 Resultater fra bakteriologisk prøvetaking

Type filter	Vannverk	Dato	Vann-temperatur (°C)	Filtrerings-hastighet (m/time)	Råvann			Filtrert vann (før desinfeksjon)		
					Kimtall, 7 døgn (/ml)	Koliforme bakterier (/100 ml)	Termotolerante koliforme bakterier (/100 ml)	Kimtall, 7 døgn (/ml)	Koliforme bakterier (/100 ml)	Termotolerante koliforme bakterier (/100 ml)
Alkalisk	Egersund ¹⁾	03.08.94 30.11.94	19 - 5	-	414	0 (8/18) 3 (maks)	0 (16/18) 1 (maks)	518	0 (14/18) 1 (maks)	0 (16/18) 3 (maks)
	Egersund ²⁾	02.08.95 22.11.95	18 - 5	-	94	0 (11/17) 18 (maks)	0 (12/17) 14 (maks)	379	0 (12/17) 39 (maks)	0 (12/17) 7 (maks)
	Herskaret	31.10.95	-	2.7	220	38	0	110	14	1
		28.11.95	-	2.3	73	20	0	27	4	1
		30.01.96	-	-	3	2	1	9	2	0
	Hamar	13.11.95	4.0	2.9	-	< 1	< 1	27	1	< 1
		11.12.95	4.0	6.3	-	1	< 1	43	1	< 1
		08.01.96	4.0	2.9	27	< 1	1	85	3	1
	Fannefjord	08.11.95	4.8	6.3	137	17	3	195	36	1
		13.11.95	4.8	6.3	120	15	0	150	20	3
		20.11.95	4.8	6.3	130	9	1	130	13	4
	Skadberg	16.10.95	-	3.6	160	0	0	680	0	0
		23.10.95	-	3.6	125	0	0	210	0	0
		30.10.95	-	3.6	310	3	2	880	2	2
Sand	Tvedestrand	27.10.95	-	4.6	-	> 300	1	-	1	0
		27.11.95	-	4.5	-	5	0	-	2	0
	Ørsta	17.10.95	5.7	7.0	19	0	0	23	0	0
		07.11.95	4.7	5.1	-	0	0	-	0	0
		21.11.95	3.6	5.8	8	0	0	24	0	0
	Gjøvik	13.10.95	5.5	4.3	16	0	0	18	1	1
		14.11.95	5.5	6.8	42	5	1	48	1	0
		17.11.95	5.0	5.0	75	4	1	50	5	0
	Hamar	13.11.95	4.0	2.9	-	< 1	< 1	1	< 1	< 1
		11.12.95	4.0	6.3	-	1	< 1	34	1	< 1
		08.01.96	4.0	2.9	27	< 1	1	15	< 1	2
	Svean	24.10.95			620	4	0	14	2	0
		07.11.95			510	2	0	110	3	0

¹⁾ 17 prøver tatt i perioden 03.08.94 - 30.11.94, marmor 3 mm, tilbakespyling m. vann

²⁾ 18 prøver tatt i perioden 02.08.95 - 22.11.95, marmor 1-3 mm, tilbakespyling m. luft og vann

Bortsett fra Tvedestrand (1 enkeltprøve) er det ingen av vannverkene som inngår i prøvetakingen som har et høyere innhold av koliforme bakterier i råvannet enn det som ble registrert i pilotforsøkene. Prøveresultatene som foreligger for anleggene med sandfilter, gir ikke noe grunnlag for å konkludere med at disse filtrerne fungerer som hygieniske barrierer.

En markert forskjell mellom anleggene med alkaliske filter og anleggene med sandfilter, er kimtallet i filtrert vann. På samtlige av de alkaliske filtrerne foregår det en økning av kimtallet over filteret. For de tre anleggene med sandfilter er kimtallet i h.h.v. råvann og filtrert vann på samme nivå, eller noe redusert i filtrert vann. Dette kan ha sammenheng med at det er vanskelig å oppnå en tilfredsstillende spyling i de alkaliske filtrerne, samt at de miljømessige forholdene (pH etc.) er mer optimale for etablering av biologisk vekst i et alkalisk filter enn i et konvensjonelt sandfilter. Økningen i kimtallet anses imidlertid ikke som noe hygienisk problem, men det er behov for å gjennomføre undersøkelser for å klarlegge sammenhengen mellom kimtall, filterutforming, råvannskvalitet og driftsform.

6 Referanser

Sosial- og helsedepartementet (1995): "Forskrift om vannforsyning og drikkevann m.m., 1-9, 1995.

Statens institutt for folkehelse (1987): "A4, Beskyttelse av overflatevannkilder", Oslo 1987.

Weideborg, M.; Hem, L.J. (1994): "Hurtigfiltrering som hygienisk barriere. Delrapport 1: Litteraturstudium og oversikt over norske erfaringer". NORVAR-rapport 36-1994.

VEDLEGG

Data fra forsøkskjøringen

[illegible]

NORVAR-rapporter

- Rapport nr. 1: Aktuelle metoder for myk start/stopp av store motorer.
- Rapport nr. 2: Betongnedbrytning i kloakkbussenger.
- Rapport nr. 3: Register over industribedrifter tilknyttet offentlig avløpsnett. Forprosjekt for PC-basert registrerings- og rapporteringssystem.
- Rapport nr. 4: Bruk av PC i avløpsanlegg. Eksempel på system for registrering og bearbeidelse av driftsdata.
- Rapport nr. 5: Arbeidsmiljø i kloakkanlegg. Arbeid utført ved HIAS 1982–87.
- Rapport nr. 6: Organisasjons- og beredningsplan for VAR-anlegg. Eksempel fra VAR-selskapet HIAS.
- Rapport nr. 7: Datasentral og EDB på avløpsrenseanlegg. Forprosjekt.
- Rapport nr. 8: EDB i VA-sektoren. Samordnet innsats.
- Rapport nr. 9: NORVAR's årsberetning 1988.
- Rapport nr. 10: NORVAR's årsberetning 1989.
- Rapport nr. 11: Forfellings innflydelse på veksten i et biofilmanlegg. Forsøk i laboratorieskala ved VEAS.
- Rapport nr. 12: NORVAR's årsberetning 1990.
- Rapport nr. 13: Prosess-styresystemer for VAR-anlegg. Forslag til kravspesifikasjon ut fra VAR-bransjens behov.
- Rapport nr. 13A: Prosess-styresystemer for VAR-anlegg. Funksjonsblokker for avløpsanlegg.
- Rapport nr. 13B: Funksjonsbeskrivelser for avløpsrenseanlegg.
- Rapport nr. 13C: Funksjonsbeskrivelser for ledningsnett.
- Rapport nr. 14: Drift av anlegg i VAR-sektoren. Behov for kompetanse og opplæring. Anbefaling fra anleggseiere.
- Rapport nr. 15: Driftsovervåking av aktivt karbonfilter
- Rapport nr. 16: EDB i VAR-teknikken. FDV – kravspesifikasjoner.
- Rapport nr. 17: EDB i VAR-teknikken. Driftskontrollanlegg for VA-transportssystemer. Innsamling og bearbeidelse av data.
- Rapport nr. 18: EDB i VAR-teknikken. Sensorer og måleutstyr. Forprosjekt.
- Rapport nr. 19: EDB i VAR-teknikken. Økonomistyring i VAR-sektoren.
- Rapport nr. 20: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Hovedrapport.
- Rapport nr. 20A: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Aerob og anaerob behandling.
- Rapport nr. 20B: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Kalking. Kompostering.
- Rapport nr. 20C: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Slamavvanning.
- Rapport nr. 20D: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Termisk behandling av kloakkslam.
- Rapport nr. 21: NORVAR's årsberetning 1991.
- Rapport nr. 22: EDB i VAR-teknikken. Fase 1 – kravspesifikasjoner m.m. Statusbeskrivelse og forslag til videre arbeid.
- Rapport nr. 23A: Internkontroll for VA-anlegg. Mal for internkontrollhåndbok for VA-anlegg.
- Rapport nr. 23B: Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for avløpsanlegg. Eksempel fra Fredrikstad og Omegn Avløpsanlegg.
- Rapport nr. 23C: Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for vannverk. Eksempel fra Vansjø vannverk.
- Rapport nr. 23D: Internkontroll for VA-anlegg. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg.
- Rapport nr. 23E: Internkontroll for VA-anlegg. Helse, miljø og sikkerhet ved vannbehandlingsanlegg.
- Rapport nr. 23F: Internkontroll for VA-anlegg. Helse, miljø og sikkerhet ved avløpsrenseanlegg.
- Rapport nr. 23G: Internkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks. Østfolden kloakkrenseanlegg.
- Rapport nr. 23H: Internkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks. Smøla vannverk.
- Rapport nr. 23I: Internkontroll for VA-anlegg. Internkontroll for VA-transportssystemet. Eksempel på aktivitetsstyrende håndbok for avløpsvirksomheten, Nedre Eiker kommune.
- Rapport nr. 24: NRV-prosjekt. Korrosjonskontroll ved vannbehandling med mikronisert marmor.
- Rapport nr. 25: NORVAR's Slamgruppe. Mal for prosessoppfølging av anlegg for stabilisering og hygienisering av slam.
- Rapport nr. 26: NORVAR's Slamgruppe. Installasjon av gassmotor for strømproduksjon ved avløpsrenseanlegg.
- Rapport nr. 27: NORVAR's Slamgruppe. Mottak og behandling av avvannet råslam ved renseanlegg som hygieniserer og stabiliserer slam i væskeform.
- Rapport nr. 28: NORVAR's Slamgruppe. Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt.
- Rapport nr. 29: Rapport fra SFT-prosjekt. Regrivannsoverløp.
- Rapport nr. 30: Utvikling og uttesting av datasystem for informasjonssøking i VA-sektoren. Erfaringer fra et pilotprosjekt.
- Rapport nr. 31: PRO-VA, Brukerklubb for prosess-styresystemer, drift- og fjernkontroll for VA-anlegg. Oversikt pr. 1993. Leverandører – produsenter – konsulenter. Referanseanlegg, litteratur, terminologi.
- Rapport nr. 32: Bruk av statistiske metoder (kjemometri) til å finne sammenhenger i analyseresultater for avløpsvann.
- Rapport nr. 33: Rapport fra SFT-prosjekt. Evaluering av enkle rensemetoder. Slamavskillere.
- Rapport nr. 34: Rapport fra SFT-prosjekt. Evaluering av enkle rensemetoder. Siler/finnister.
- Rapport nr. 35: Kravspesifikasjon og kontrollprogram for VA-kjemikalier.
- Rapport nr. 36: NORVAR's faggruppe for vannforsyning. Filter som hygienisk barriere.
- Rapport nr. 37: NORVAR's faggruppe for vannforsyning. EU/EØS. konsekvenser for Norges vannforsyning.
- Rapport nr. 38: NORVAR-prosjekter 1992/93.
- Rapport nr. 39: Implementering av EDB-basert vedlikeholdssystem. Erfaringer fra et referanseprosjekt knyttet til pilot-prosjekt ved Bekkelaget Renseanlegg. Sjekk-/mønterliste for bruk ved implementering av EDB-basert vedlikehold.
- Rapport nr. 40: Driftsassistanter for avløp. Utredning om rolle og funksjon fremover.
- Rapport nr. 41: PRO-VA, Brukerklubb for prosess-styresystemer, drift- og fjernkontroll for VA-anlegg. METRI-TEL. Kommunikasjonsmedium for VA-installasjoner. Erfaringer fra prøveprosjekt i Sandefjord kommune.
- Rapport nr. 42: Industriløp til kommunalt nett. Evaluering av ulike industrikartleggingsprosjekter.
- Rapport nr. 43: NORVAR's faggruppe for vannforsyning. Korrosjonskontroll ved Hamar vannverk. Resultat fra fullskalaforøk.
- Rapport nr. 44: Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt. Vekstsesongen 1994.
- Rapport nr. 45: Forsøk med forfelling og felling i 2 trinn med polyaluminiumklorid høsten 1993. Kartlegging av slam- og slamvannstrømmer med og uten forfelling 1993–94.
- Rapport nr. 46: Renovering av avløpsledninger. Røtningslinjer for dokumentasjon og kvalitetskontroll.

NORVAR-rapporter forts.:

Rapport nr. 47:	Oslo kommune, Vann- og avløpsverket: Strategidokument for industrikontrollen.
Rapport nr. 48:	NORVAR og miljøteknologi. Forprosjekt.
Rapport nr. 49:	Grunnundersøkelser for infiltrasjon – små avløpsanlegg. Forundersøkelse, områdebefaring og detaljundersøkelse ved planlegging av separate avløpsrenseanlegg.
Rapport nr. 50:	Rørinspeksjon i avløpsledninger. Rapporteringshåndbok. Standarddefinisjoner.
Rapport nr. 51:	Slambehandling
Rapport nr. 52:	Bruk av slam i jordbruket
Rapport nr. 53:	Bruk av slam på grøntarealer
Rapport nr. 54:	Rørinspeksjon av avløpsledninger. Veileder.
Rapport nr. 55:	Vannbehandling og innvendig korrosjonskontroll i vannledninger
Rapport nr. 56:	Vannforsyning til næringsmiddelindustrien. Krav til vannkvalitet. Vannverkernes erstatningsansvar ved svikt i vannleveransen.
Rapport nr. 57:	Trykkreduksjon. Håndbok og veileder.
Rapport nr. 58:	Karbonatisering på alkaliske filter.
Rapport nr. 59:	Veileder ved utarbeidelse av prosessgarantier.
Rapport nr. 60:	Avløp fra bilvaskeanlegg til kommunalt renseanlegg.
Rapport nr. 61:	Veileder i planlegging av fornyelse av vannledningsnett.
Rapport nr. 62:	Veileder i planlegging av spyling og pluggkjøring av vannledningsnett.
Rapport nr. 63:	Mal for søknad om godkjenning av vannverk.
Rapport nr. 64:	Driftserfaringer fra anlegg for stabilisering og hygienisering av slam i Norge. Forprosjekt.
Rapport nr. 65:	Forslag til veileder for fettavskillere til kommunalt avløpsnett.
Rapport nr. 66:	EØS-regelverket brukt på anskaffelser i VA-sektoren.
Rapport nr. 67:	NORVAR'S faggruppe for vannforsyning. Filter som hygienisk barriere. Fase 3: Resultater fra pilotforsøk og praktiske erfaringer fra vannverk.