

NORVAR
NORVAR

36
1994

Prosjektrapport

NORVAR's faggruppe for vannforsyning

Filter som hygienisk barriere

Norsk VA-verkforening

Rapportnummer:

36 - 1994

Dato:

14. mars 1994

Antall sider (inkl. bilag)

26

Tilgjengelighet:

Åpen: X

Begrenset:

Rapportens tittel:

HURTIGFILTRERING SOM HYGIENISK BARRIERE. Delrapport 1: Litteraturstudium og oversikt over norske erfaringer

Forfatter(e):

Cand.real Mona Weideborg og Dr. ing. Lars J. Hem, Aquateam AS

Ekstrakt:

Det er gjennomført et litteraturstudium for å klarlegge i hvilken grad hurtigfiltrering kan fungere som hygienisk barriere i et vannrenseanlegg. Videre er det utført målinger av den bakteriologiske vannkvaliteten før og etter sandfiltrering ved Vestfold Interkommunale Vannverk.

Litteraturstudiet viser at en forutsetning for at hurtigfiltrering skal ha en høy renseseffekt mhp. bakterier er en relativt finkornig filtermasse, f.eks. 0.3-0.5 mm og en lavere filterhastighet enn 10 m/h.

Undersøkelsen viser at et hurtigsandfilter aldri kan bli en erstatning for desinfeksjonsprosessen eller for tiltak som gir beskyttelse av vannkildens nedbørfelt, men prosessen kan være viktig og i visse sammenhenger et nødvendig supplement der potensielt sykdomsfremkallende mikroorganismer opptrer sporadisk i råvannet. Et hurtigsandfilter vil ha størst vil ha størst renseseffekt på de største mikroorganismene som Giardia og Cryptosporidium, som er svært resistente overfor tradisjonell desinfeksjon.

Emneord, norske:

Drikkevann, hurtigfiltrering, mikroorganismer, litteraturstudium

Emneord, engelske:

Drinking water, rapid filtration, microorganisms, litteratur review

Andre utgaver:

ISBN 82-414-0049-7

Forord

Prosjektet er organisert som et NORVAR spleiseprosjekt med Asle Aasen som koordinator. Det er opprettet en prosjektgruppe med følgende deltakere:

Asker og Bærum vannverk	Bergen kommune
Fræna kommune	Gjøvik kommune
Glitrevannverket	VAR-selskapet HIAS i Hamar-regionen
Karmøy kommune	Skien kommune
Vestfold Interkommunale Vannverk (VIV)	Hydrogas A/S
Trondheim kommune	VAR-selskapet IVAR i Stavanger

Utøvende firma er Aquateam - Norsk vannteknologisk Senter A/S, med cand.real Mona Weideborg som ansvarlig for litteraturstudiet, dr.ing. Lars J. Hem som prosjektleder, og siv.ing. Eileen A. Vik, Ph.D., som faglig ansvarlig. Vannverkssjef Sverre Mollatt, VIV, har vært ansvarlig for et vannkvalitetsstudium utført ved VIV.

Det ble avholdt et prosjektgruppemøte 27.01.94 der resultatene ble gjennomgått. Kommentarer gitt på prosjektgruppemøtet og i etterfølgende skriftlig form er innarbeidet i den foreliggende rapporten.

Med utgangspunkt i et utarbeidet forslag til videreføring av prosjektet (kfr. pkt. 5) vil NORVAR ta finansiering opp med aktuelle deltakere.

Hamar, 14. mars 1994



Asle Aasen

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	3
2. Litteraturstudium av hurtigfiltrering	6
2.1. Aktuelle mikroorganismer	6
2.2. Fjerning av partikler med ulik partikkelstørrelse	6
2.3. Mikrober tilknyttet partikler	9
2.4. Effektiviteten i fjerning av mikroorganismer	10
2.5. Sammenligning mellom hurtigfiltrering med og uten koagulant og langsomfiltrering	14
2.6. Bruk av aktivert karbon som filtermedium	15
2.7. Bruk av alkalisk filtermasse	15
2.8. Hurtigfilter som hygienisk barriere	18
3. Erfaringer fra norske vannverk	19
4. Konklusjon	21
5. Forslag til videre arbeid	22
6. Referanser	23

1 Innledning

Bakgrunn for prosjektet

I Norge bruker svært mange vannverk overflatevann med vannkvalitet som, med unntak av pH, alkalitet og kalsiuminnhold, er tilfredsstillende i store deler av året. Turbiditeten og evt. den bakteriologiske kvaliteten er imidlertid ikke tilfredsstillende i kortere perioder (Hem et.al, 1992, Kristiansen, 1992). Vannverkene har installert (eller har planer om å installere) hurtig sandfilter e.l. for å ta hånd om turbiditeten.

Folkehelse har for å kunne godkjenne vannverk, stilt som krav at alle godkjente vannverk skal ha to uavhengige hygieniske barrierer. Normalt er dette beskyttelse av nedbørfeltet og vannbehandling (som oftest desinfisering). Hittil har klausulering i nedbørfeltet for mange vannverk fungert som den ene barrieren, men for en rekke vannverk er dette ikke lenger en effektiv hygienisk barriere hele året, delvis pga. tilfeldig forurensning fra turister og f.eks. ekskrementer fra fugler som trekker inn i området. Desinfeksjon alene er heller ikke alltid en tilstrekkelig barriere. Man vet at ikke alle organismer drepes ved desinfisering (klorering eller UV-bestråling), men at innholdet av mikroorganismer kan reduseres ved hurtigfiltrering.

I USA er det i forbindelse med Safe Drinking Water Act bestemt at filtrering skal inngå som en del av minimumsbehandlingen for overflatevann, såfremt vannverkene ikke oppfyller en rekke krav til råvannskvalitet, drift av renseanlegg og egenkontroll, og der kontrollen er utført av en uavhengig instans (Pontius, 1990). Utgangspunktet er at alt overflatevann kan bli kontaminert av parasitter, virus og patogene bakterier, og at vannverkene må dokumentere at filtrering ikke er nødvendig for å unngå dette kravet.

Hvorvidt et filter vil redusere smittefare vil avhenge av hva slags filtermasse en har, og hvordan filteret drives (Lund, 1985). Forsøk med filtrering for å fjerne virus fra vann har gitt resultater fra liten eller ingen reduksjon til 99% reduksjon.

Dette prosjektet tar sikte på å avklare i hvilken grad filtrering, fortrinnsvis med en relativt finkornet filtermasse, vil være egnet som et supplement til en hygienisk barriere. Problemstillingen er relevant for svært mange norske vannverk.

Beskrivelse av prosjektet

Prosjektet skal undersøke om et filtreringstrinn som fjerner turbiditet, alene eller som et supplement til andre tiltak, kan fungere som hygienisk barriere. Prosjektet er et brukerstyrt forskningsprosjekt, som starter med en litteraturgjennomgang av norske og internasjonale erfaringer, og som er planlagt etterfulgt av pilotforsøk for å avklare hvordan filteret bør bygges opp og drives. Aktuelle variabler er filtermateriale, kornstørrelse, hydraulisk belastning og tilbakespylingspraksis.

Prosjektet skal gi svar på:

- Hvilke erfaringer som finnes med filter som hygienisk barriere, evt. bakteriereduksjon i filtre. Dersom det er vannverk i Norge der en på en enkelt og kontrollert måte kan undersøke effekten av filtrering på vannets bakterieinnhold, skal en utvide erfaringsgrunnlaget ved en intensiv prøvetaking og vannanalyser på disse vannverkene, i samarbeid med vannverkseierne.
- Hvilke korngraderinger må en ha på filtermassen for å få en effektiv hygienisk barriere, og hvordan må et slikt filter drives mhp. filterhastighet, tilbakespylingsrutiner og hensiktsmessige filterdybder, og
- Hvorvidt en kan benytte alkaliske filtermasser i et filter som samtidig skal være en hygienisk barriere.

Prosjektet er delt inn i tre faser:

- Fase 1 - En litteraturundersøkelse av internasjonale erfaringer med filtrering som en hygienisk barriere.
- Fase 2 - En undersøkelse av relevante erfaringer fra norske vannverk, og fra vannverk der en enkelt kan undersøke effekten av filtrering på vannets bakterieinnhold.
- Fase 3 - Pilotforsøk, fortrinnsvis med flere typer/korngraderinger filtersand og filter, foruten alkalisk filtermasse.

Rapporten omhandler fase 1 og fase 2 med forslag til videre arbeid med fase 3.

Beskrivelse av litteraturundersøkelsen (Fase 1)

Det ble gjort datasøk på databasene ENVIROLINE og AQUALINE. I tillegg ble American Water Works Association Journals (AWWA) fra 1984 til i dag gjennomgått, likeledes AWWAs årlige Conference Proceedings og relevante AWWA R&D Research Reports, samt øvrig relevant litteratur i Aquateam's bibliotek. Tilsammen ble det funnet 42 relevante referanser.

Ved valg av relevant litteratur er det fokusert på opplysninger om reduksjon av vannets innhold av mikroorganismer ved hurtig sandfiltrering uten bruk av koagulant. Referanser vedr. hurtigfiltrering med koagulering og langsomfiltrering samt bruk av aktivert karbon, er kun tatt med for sammenlikning med rensresultater fra hurtigfiltrering.

Opplysninger om forsøkene gjennomføring, råvannskvalitet, renseseffekt med hensyn på fjerning av partikler, (bakterier, virus og protozocyster), forsøksbetingelser (dimensjon, filtermateriale, kornstørrelse, filterdybde, filterhastighet og filtersyklus) er forsøkt sammenstilt der slike opplysninger finnes.

En mulig effekt av pH-økning ved filtrering gjennom kalsiumkarbonat-filtre ble kun vurdert ved gjennomgang av eksisterende litteratur i Aquateam's bibliotek. Det ble ikke funnet resultater fra forsøk med filtrering gjennom alkalisk masse, men det ble funnet 6 andre relevante referanser, hvorav 3 av dem inneholdt opplysninger om effekt av kalking av vann ved pH-verdier som kan være relevante i drikkevannssammenheng (pH 8-10).

Gjennomgang av norske erfaringer (Fase 2)

Erfaringer fra norske vannverk samlet inn på følgende måte. Folkehelse's rapporter fra Driftsoppfølging av vannverk (DOP-prosjektet) samt resultater fra Folkehelse's spormetalprosjekt ble gjennomgått. Enkelte vannverk som er beskrevet med sandfilteranlegg uten bruk av koagulant ble fulgt opp, ved en telefon til det lokale næringsmiddeltilsyn, men relevante analysedata for vurdering av filterets renseeffekt ble ikke funnet. Vannverkene hadde ikke analysedata mhp. bakterier fra råvannsprøver og fra vannprøver etter filtrering før klorering.

Det ble ved Vestfold Interkommunale Vannverk gjennomført en studie av vannkvaliteten før og etter filtrering i perioden 09.11. - 22.12.93.

2 Litteraturstudium av hurtigfiltrering

2.1 Aktuelle mikroorganismer

Størrelsen og formen på mikroorganismene samt hvorvidt de fester seg til større partikler har betydning for tilbakeholdelse i filter. Bakterier og virus er ofte festet til større partikler slik at dersom disse fjernes, fjernes også bakterier og virus som er festet til partiklene.

Tabell 1 viser en oversikt over størrelsen av de mest aktuelle mikroorganismene.

Tabell 1. **Oversikt over størrelsen av ulike mikroorganismer. Utarbeidet etter Folkehelsa (1989), Cartwright (1988) og Kavanaugh og Vagenknecht (1975).**

Organismer	Størrelse
<u>Bakterier</u>	~ 0.5 - 7 μm i diameter,
<i>E. Coli</i>	2 μm lange, 1 μm brede
<u>Blågrønnalger</u>	0.8 - 50 μm i diameter
<u>Grønnalger</u>	< 50 μm i diameter
<u>Virus</u>	10^9 - 0.1 μm
<u>Protozocyster</u>	
<i>Giardia</i>	8 - 12 μm lange, 7 - 10 μm brede
<i>Entamoeba</i>	Samme størrelseorden som <i>Giardia</i>
<i>Cryptosporidium</i>	4,5 μm lange, 4,0 μm brede

2.2 Fjerning av partikler med ulik partikkelstørrelse

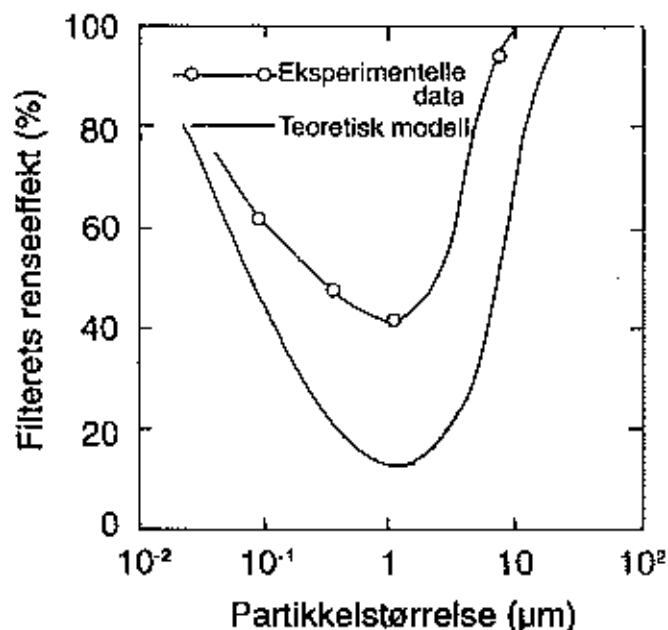
Filtreringsteori

Hurtigfiltrering vil fjerne partikler fra vann ved vannets passasje gjennom et lag av granulært materiale. Ofte brukes sand med ulike tetthet eller hydroantrasitt med ulik kornstørrelse. Filtrene kan være bygget opp som enmedia-, tomedia- eller flermedia-filtre. Denne betegnelsen beskriver antallet typer filtermedia som er brukt. Et tremedia-filter kan f.eks. bestå av granulært plastmedium, hydroantrasitt og sand. Prosessen anvendes normalt ved vannverk for å fjerne partikulært materiale fra elvevann, utfelt jern- og manganslam fra grunnvann og utfelt humus eller leirpartikler fra innsjøer og elver. Hurtigfiltrering brukes også ofte når vanninntaket kommer fra næringsrike innsjøer, og målet er å redusere algemengden. Prosessen fjerner partikler som er langt mindre enn det poreåpningene i filteret skulle tilsi.

Allerede i 1917 ble det av Smoluchowski utarbeidet en modell for transport av partikler i filteret. Denne er bl.a. beskrevet i Vik (1980).

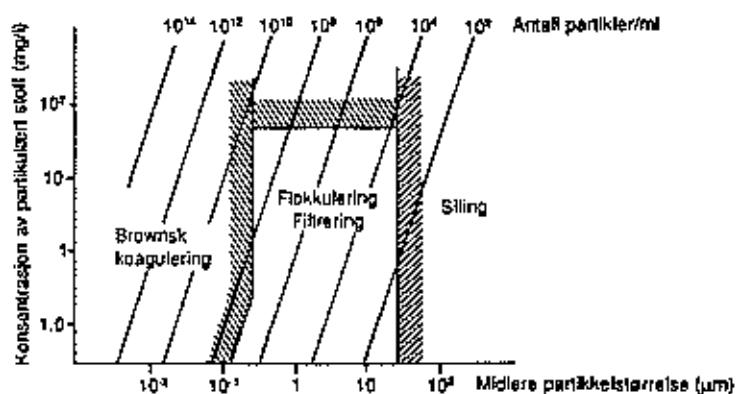
Partikler med diameter større enn 1 μm blir sedimentert i filteret, mens partikler mindre enn 1 μm blir effektivt utfelt i filteret ved Brownsk diffusjon (adhesjon til partikler i filtermediet).

Yao et.al (1971) gjorde filtreringsforsøk med partikler med kjent partikkelstørrelse og sammenliknet med Smoluchowskis modell. Figur 1 viser resultatet.



Figur 1. Betyding av partikkelstørrelse for rense-effektivitet (Yao et.al 1971).

Som figur 1 viser eksisterer det en kritisk partikkelstørrelse som er vanskelig å fjerne. Den kritiske partikkelstørrelsen er på ca. 1 µm. Disse forsøkene ble gjort med rene filtre. Senere er det vist at partikkelkonsentrasjonen også har betydning. Partikler fjernet tidlig i filtreringsprosessen vil kunne fungere som et filtermedium for senere tilførte partikler (fig. 2). Små partikler gir et mye høyere trykktap enn store partikler. Dette er senere verifisert av flere. Når man ser hele filteret under ett, vil denne effekten til en viss grad motvirkes ved at grøvre partikler avsettes i toppen av filteret (Mackie og Bai, 1993). Kornstørrelsens plassering i filteret er her av stor betydning. Dette diskuteres nærmere i kap. 2.4.



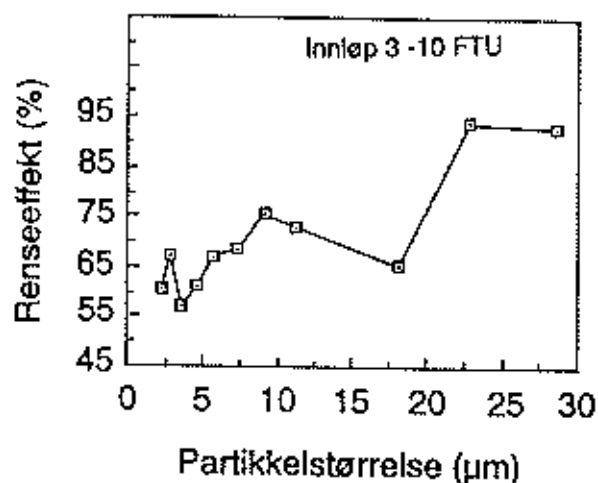
Figur 2 Basis for valg av vannbehandlingsprosess for å redusere partikkelinnholdet (etter Kavanaugh og Vagenknecht, 1975).

Østerhus (1993) har i pilotforsøk med hurtigfiltrering utført partikkeltelling for å se på effektiviteten mhp. fjerning av ulike partikkelstørrelser. Filteret ble drevet nedstrøms, filterkolonnen var 3,5 m høy med diameter 15 cm, og filterhastigheten 10 m/time. Filtersengen hadde følgende oppbygging.

Filtermedium	Kornstørrelse	Dybde
Antrasitt	0.8 - 1.6 mm	55 cm
Sand	0.4 - 1.0 mm	30 cm
Sand	1 - 2 mm	10 cm
Sand/grus	2 - 5 mm	10 cm
Grus	5 - 10 mm	10 cm

Partikler i størrelsesordenen 1.0 - 5.0 μm ble i liten grad fjernet, og partikler i størrelsesordenen 5 - 15 μm ble bare fjernet delvis.

Oram og Ghosh (1987) har gjort pilotforsøk med bruk av kiselgur som medium. Man har målt partikkelstørrelsen på partikler i innløp og utløp og har beregnet renseeffektiviteten av ulike fraksjoner (fig. 3). Større partikler lar seg i hovedsak fjerne lettere enn små.



Figur 3 Renseeffekt av partikler med ulike størrelser (Oram og Ghosh, 1987).

I mange forsøk for reduksjon av konsentrasjonen av mikroorganismer, er også turbiditetsreduksjoner målt. Disse resultatene er beskrevet i kap. 2.4.

Praktiske erfaringer har vist at breslam ($< 0,4 \mu\text{m}$) ikke fjernes ved denne prosessen (Weideborg et.al 1991), og heller ikke humus. Innholdet av bakterier og virus reduseres noe. Bakterier og virus er ofte festet til større partikler, og der disse fjernes, fjernes også bakterier og virus som er festet til partiklene. Se kap. 2.4 om nærmere vurdering av reduksjon av konsentrasjonen av mikroorganismer.

I følge Folkehelsen (1989) er sandfiltrering ansett for å være effektivt for fjerning av partikler i størrelsen 1 - 10 μm .

Det finnes ulike prosessutførelser: nedstrømsfilter, oppstrømsfilter, trykkfilter, kontinuerlig spykende filtre eller patronfiltre. Følgende er felles for alle typer hurtigfiltre:

- Mengden partikler som fjernes er proporsjonal med konsentrasjonen som når fram til filterlaget.
- Filterets effektivitet varierer med tiden det har vært i drift etter tilbakespyling.
- Mengden partikler som fjernes er lik mengden som akkumuleres i filterporene.
- Et filter vil kunne komme til et punkt da konsentrasjonen av partikler inn er lik konsentrasjonen av partikler ut, også kalt metningspunktet. Man vil, dersom anlegget kjøres lengere enn dette, kunne få gjennombrudd av partikler.
- Etterhvert som partikler fjernes i filteret bygger man opp et trykktap. Dimensjoneringsforhold som filterhøyde, turbiditet i rensset vann og trykk bestemmer hva man kan akseptere før det er nødvendig å tilbakespyle anlegget. Effektiviteten av tilbakespylingen er ofte kritisk for å oppnå en jevn og stabil drift inklusive stabil driftslengde (tid mellom hver tilbakespyling). Vanligvis brukes ca. 5-10% av rensset vann til vasking (tilbakespyling) av filteret.

2.3 Mikrober tilknyttet partikler

Verdens Helseorganisasjon (WHO, 1984) nevner at nærvær av partikler (turbiditet) kan ha effekt på mikrobiologisk kvalitet av drikkevann. Partikler kan beskytte bakterier og virus mot effekten av desinfeksjonsmidler. Partikler i vannet vil kunne innkapsle mikrober og føre til at disse ikke vil bli inaktivert av ultrafiolett bestråling eller klor, og vil også kunne skjerme partikler mot UV-lys (Folkehelse, 1987a). Desinfeksjonseffekten vil således reduseres ved partikler i vannet. I følge WHO (1984) anbefales av denne grunn ikke turbiditeten på vann som bare skal desinfiseres å overstige 1 FTU, og den må overhodet ikke overstige 5 FTU.

Partikler vil imidlertid kunne adsorbere mikrober, slik at disse fjernes sammen med partiklene ved hurtigfiltrering. Litteraturstudiet avdekket ingen nye undersøkelser over hvor stor andel av bakterier og virus som kan være festet til partikler, men eldre litteratur angir følgende verdier: 53% av totalt innhold av bakterier (Sayler et al., 1975), opptil 80% av fekale koliforme bakterier (Sayler et al., 1975; Brisou, 1965) og hoveddelen av virus (Satar, 1981) i vannet vil være festet til partikler. Årsaken til dette kan være flere.

1. Mikrober kan adheres til større partikler på grunn av ladningsforhold. Dette gjelder særlig for virus og andre mikrober som ikke har noen egenbevegelse. Det er ifølge WHO, 1984 registrert at silt i elvevann lett adsorberer virus.
2. Organiske partikler fra kloakk m.v. vil kunne inneholde bakterier, og vil også inneholde næringsstoffer som gjør at bakterier er istand til å vokse effektivt.
3. Mikrobiologisk vekst er generelt sterkest på overflaten av partikler og på innsiden av løse partikler. Dette skyldes at næringsstoffer adsorberes til overflaten, og bakterier blir således istand til å vokse mer effektivt der sammenliknet med bakterier i fri suspensjon.

Som omtalt ovenfor, vil høyt partikkelinnhold i vannet kunne forårsake sterkere vekst av mikrober, sammenliknet med vann uten partikler.

Reduksjon av antal mikroorganismer tilknyttet partikler forutsetter at filteranlegget fungerer tilfredsstillende mhp. partikkel fjerning. Ved gjennombrudd i et filter vil det f.eks. kunne skje en økning av konsentrasjonen av virus selv om den registrerte turbiditeten er lav (WHO, 1984).

2.4 Effektiviteten i fjerning av mikroorganismer

En sammenstilling av erfaringer med effektiviteten i fjerning av bakterier, virus, protozoocyster, turbiditet og annet med hurtigfiltrering er vist i tabell 2. Der det finnes opplysninger om filterhastighet, filtersyklus, filterdybde, kornstørrelse, forsøksdimensjoner m.m. er dette tatt med.

Tabell 2. Oversikt over erfaringer med fjerning av mikroorganismer (ant. = antrasitt, C = Clostridium)

Referanse	Renseeffekt %					Forsøksbetingelser				Annet
	Turb.	Glødtje	Kollt.	Virus	Annel	Kornstr. (mm)	Dybde (m)	Filterhastighet ml/m	Media	
Lund, 1985	-	-	-	90%	-	-	-	-	GAC Sand	Oversiktsartikkel
Al-Ani et.al, 1986	13,8-72,4	7,6-68,3	1,1-99,9	Dårlig	Kimtal: 9,7-89,6	0,5 (sand) 0,9 (ant.)	0,3 (sand) 0,45 (ant.)	5,8-24,8"	Sand + antrasitt	Pilotforsøk 12,7cmx12,7cm filter råvann < 1 FTU
Mascheldin, 1979	-	-	-	50%	-	-	-	-	Diatomit mel	Diskusjon av filtermat.
Sriramulu, 1976	-	99%	-	92%	-	-	-	9,8	Karbon + sand	Lab. test
Hendricks, 1988	35-57	80-91	60	-	-	0,5 (sand) 0,9 (ant.)	-	Filtercyclus 65	Sand antrasitt	Pilotforsøk 2'x2' filter
Hendricks, 1988	88-56	89-100	3-99	-	-	1,1 0,35-0,45 0,18-0,28 1-2	0,42 ant. 0,23 sand 0,11 granat 0,08 -sand	-	mixed media	Pilotforsøk 1'x1' filter
Oram og Ghosh 1987	55-95	99,9	60-85	-	-	-	-	5	Kisalgur	1 sq foot
Himmelstein, et.al 1990	60	-	61	-	Kimtal 11	-	-	-	GAC	Fullskala
Steller et.al 1992	93-98	-	Liten red.	36-96	93-98 C. perfringens	-	-	-	-	Fullskala sed. + sandf.
EPA, 1984	-	-	10-50	0-50 (pollo)	-	-	-	-	-	Oversikt
Lund, 1993	-	-	35	21-69	-	-	-	-	-	Oversikt

¹⁾ Beste renseeffekt filtr. hast. 5,8 ml/m

Dårligste renseeffekt filtr. hast. 24,8 ml/m.

Renseeffekt generelt

Som tabell 2 viser skjer det en viss reduksjon i konsentrasjonen av mikroorganismer ved hurtigfiltrering. Men % renseeffekt som er funnet ved de ulike undersøkelsene varierer sterkt. Følgende rense- effekter er funnet for de ulike organismer:

- ♦ *Giardia* : 8 - 100%
- ♦ Koliforme bakt. : 1 - 99,9%
- ♦ Virus : 0 - 96%
- ♦ Kimtall : 10 - 99,6%

Ikke alle publikasjoner oppgir forsøksbetingelser. De beste renseresultatene er funnet ved lave filtreringshastigheter.

Betydning av filtreringshastighet

Al-Ani et.al (1986) utførte pilotforsøk med bakteriologisk forurenset vann med lav turbiditet (< 1 FTU). Det ble gjort pilotforsøk med ulike filterhastigheter. Filtrene var 2-mediafiltre (0,3 m sand med kornstørrelse 0,5 mm, og 0,45 m antrasitt med kornstørrelse 0,9 mm). Her var filterhastighetene av størst betydning for renseresultatet (tabell 3).

Tabell 3. Filterhastighetens betydning for renseresultat med hurtig filtrering (utarbeidet etter Al-Ani et.al, 1986).

Parameter	% reduksjon		Størrelsen av organismene
	24,8 m/t	5,8 m/t	
Turbiditet	14	72.4	-
Koliforme bakt.	1	99.9	2 µm
Kimtall	10	99.6	0.8 - 7 µm

Organismenes størrelse

Det synes ikke her som om størrelsen på organismene har så stor betydning ved filtrering med liten filterhastighet. I følge filtreringsteorien beskrevet i kap. 2.2, skulle koliforme bakterier (størrelsesorden 1 µm) være spesielt vanskelig å fjerne. Dette synes ikke å være tilfelle her. Al-Ani har ikke undersøkt effektiviteten mhp. fjerning av virus. Ved laboratorieforsøk med karbon/sandfilter (Sriramulu, 1976) ble det registrert 92% reduksjon av virus med filtreringshastighet 9,8 m/time.

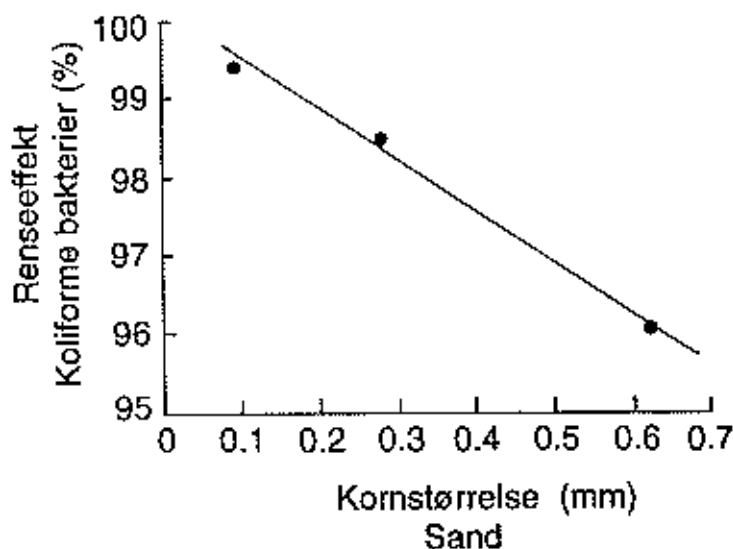
De øvrige referansene indikerer at det er lettere å fjerne *Giardia*-cystene enn koliforme bakterier. Det er imidlertid ikke alltid at reduksjonen av koliforme bakterier er representativ for reduksjonen av sykdomsfremkallende bakterier. Ved fullskala forsøk med sandfilter (9.8 m/time) ble det av Stetler et.al, 1992, registrert en liten reduksjon i innhold av koliforme bakterier, mens det ble registrert 93-98% reduksjon av den sykdomsfremkallende bakterien *Clostridium perfringens*. Her ble også en relativt høy andel av virus fjernet: 88-96% av kolifager og 38-60% av enterovirus.

Filtermedia, - kornstørrelse og dybde

Hendricks (1988) sammenliknet bruk av 2x2' tomediafilter (0,5 mm sand og 0,91 mm antrasitt), med 1x1' flermediafilter (se tabell 2) med minste kornstørrelse 0,18 mm. Det ble her ikke funnet store forskjeller i renseeffektiviteten for turbiditet, og *Giardia*. En renseeffektivitet for flermediafilteret opp til 99% for koliforme bakterier ble registrert (mot 60% for koliforme bakterier etter 2-mediafilteret).

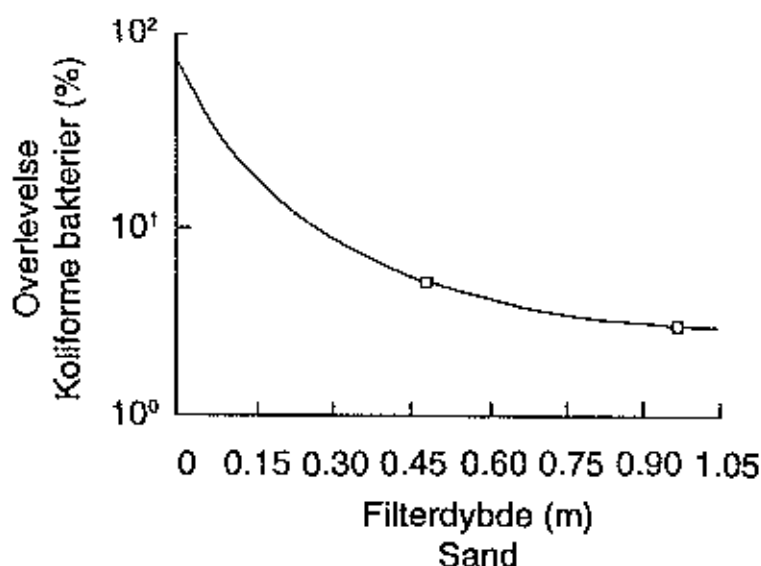
I Oram og Ghosh (1987) laboratorieforsøk med kiselgur ble det gjort forsøk med ulike kornstørrelser 14-26 μm . Renseeffekten var her høyere ved de minste kornstørrelsene.

Samme erfaring har man med langsomfiltrering. Bellamy et.al, 1985, utførte pilotforsøk med langsomfiltrering med ulike forsøksbetingelser. Gjennomsnittlig renseeffektivitet for koliforme bakterier var sterkt avhengig av kornstørrelse (se fig. 4).



Figur 4. Filtermediets kornstørrelse - innvirkning på renseeffekten av koliforme bakterier (Bellamy et.al, 1985,) (0,97 m dypt langsomfilter med hastighet 0,12 m/time)

Bellamy et.al, 1985, utførte også forsøk med effekten av ulike filterdybder. Den gjennomsnittlige renseeffekten for koliforme bakterier var avhengig av filterdybde (se fig. 5) for filterdybder under 0.5 m.



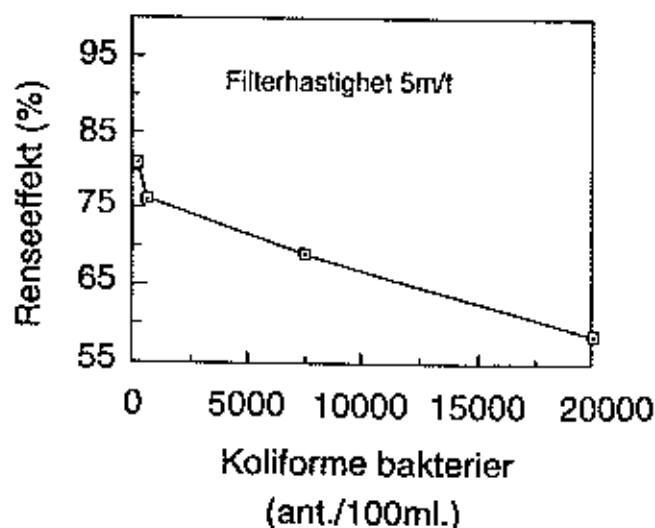
Figur 5. Filterdybde - innvirkning på renseeffekten av kolliforme bakterier (Bellamy et.al, 1985). Langsomfilter med filtreringshastighet 0,12 m/time.

Lengden av filtersyklus

Guy et.al (1987) gjennomførte piloforsøk med vann tilsatt høye konsentrasjoner av virus (bakterofager og enterovirus). Separate rensetrinn (flokkulering, sedimentering, sandfiltrering og aktivert karbon) ble undersøkt ved flere lengder av filtersyklus. Renseeffekten over sandfilter og karbonfilter var sterkt avhengig av tilbakespylingsfrekvensen.

Råvannskvalitetens innvirkning på renseresultat

Oram og Ghosh's (1987) laboratorieforsøk med kiselgur viste lavere renseeffekt når råvannet inneholder høyt innhold av kolliforme bakterier (se fig. 6).



Figur 6. Råvannskvalitetens innvirkning på renseeffekten (Oram og Ghosh, 1987).

2.5 Sammenligning mellom hurtigfiltrering med og uten koagulant og langsamfiltrering

Det er i ulike forsøk gjort sammenligninger mellom renseeffektiviteten ved hurtigfiltrering med og uten koagulant. En rekke forfattere har også forsøkt å sammenlikne langsamfiltrering med disse metodene på mer generell basis. Tabell 4 viser en sammenstilling av disse resultatene.

Resultatene varierer sterkt også innenfor hver rensemetode. Det synes som om godt drevne hurtigfiltre har renseeffekt i samme størrelsesorden som dårlig drevne filtre med tilsetning av koagulant (direktefiltrering), og som nye langsamfilteranlegg.

Tabell 4. Sammenstilling av renseeffekter rapportert i litteraturen ved hurtigfiltrering med og uten koagulant, og langsamfiltrering

Litteratur-referanse:	Mikro-organismer:	% renseeffekt rapportert			Type undersøkelse
		Hurtigfilt.	Hurtigfilt. med koagulant	Langsomfiltrering	
Al-Ani et.al, 1986	<i>Giardia</i>	8 - 68.3	40 - > 99.9	-	Pilotforsøk
	Koliforme	1 - 99.9	79 - 99.9	-	
	Kimtall	10 - 99.6	38 - 99.9	-	
	Turbiditet	14 - 72.4	43 - 92.7	-	
EPA (1984)	Koliforme	10 - 50	50 - 97	70 - 99	Oversiktsdata fra mange anlegg
Poliovirus	0 - 50	70 - 99.99	96 - 99.96		
Lund (1993)	<i>E. coli</i>	35	95	nytt 90 modent 99.99	Oversiktsdata
	Poliovirus	63	99.84	96 99.99	
	Rotavirus	21 - 69	99.99	-	
	Hepatitt A	69	98.6	-	
Robeck et.al (1962)	Poliovirus	-	-	100	Småskala pilotforsøk
Cleasby et.al (1984)	Koliforme	-	-	99.4	Pilotstudium
Bellamy et.al (1985)	<i>Giardia</i>	-	-	> 99.9	Pilotforsøk
	Koliforme	-	-	96 - 99.5%	
	Kimtall	-	-	-	
Yahya et. al (1983)	Virus (28 nm)	-	-	99	Pilotforsøk
	Virus (65 nm)	-	-	99.9	
Schuler et.ai (1991)	<i>Giardia</i>	-	-	99.9	Pilotforsøk
	<i>Cryptosporidium</i>	-	-	99.9	
Hendricks 1988	<i>Giardia</i>	80 - 91	100	-	Pilotforsøk (2'x2')
	Koliforme	60	97 - 99.95	-	
	Turbiditet	35 - 57	84 - 96	-	
Logsdon 1990	<i>Giardia</i>	94	-	-	Oversiktsdata
	Bakterier	30 - 70	96 - 99.9	-	
	Virus	1 - 50	70 - 100	-	

2.6 Bruk av aktivert karbon som filtermedium

Det eksisterer ulike erfaringer med bruk av aktivert karbon (GAC) som filtermedium. Water Research Centre i Storbritannia (WRC, 1992) har undersøkt 4 vannbehandlingsanlegg som benytter aktivert karbon og konkluderer med at GAC-filter bidrar til økt overlevelse av mikroorganismer, også koliforme bakterier.

AWWA (Graese et.al, 1987) har gjort en sammenstilling av resultater fra flere vannverk hvor sand i filtrene ble erstattet med GAC. Sammenstillingen viste at innholdet av *E.coli* ble sterkt redusert bare der biofilm var tilstede. Ved biofilm hindres *E.coli* å kolonisere seg. Det må i denne sammenhengen bemerkes at biologisk aktive GAC-filtre er vanlige fordi disse har sjeldnere regenereringsfrekvens enn filtre uten biologisk aktivitet. Den samme sammenhengen mellom biologisk aktivitet i filtrene og reduksjon av *E.coli* er funnet ved pilotforsøk med sandfiltre (Bellamy et.al, 1985). Himmelstein et.al, 1990, gjorde pilotforsøk ved Cincinnati vannverk. Her ble det registrert følgende endringer som følge av GAC-filtrering:

	<u>Innløp</u>		<u>Utløp</u>
♦ Turbiditet (FTU)	0.25	→	0.15
♦ Koliforme bakt. (ant/100 ml)	36	→	22
♦ Kimtall (ant/ml)	110	→	12
♦ Rotifera (ant/ml)	10	→	0
♦ Nematoder (ant/ml)	0.4	→	1.2

Alle de undersøkte parametre ble redusert med unntak av nematoder der det skjedde en opphopning på ca. 300% i filteret.

Hyde et.al (1986) gjorde fullskala forsøk og undersøkte renseseffekten ved bruk av sand og GAC. Renseseffektene for turbiditet og organisk materiale (TOC) var omlag den samme for sand og GAC. Filtersyklus økte med 60% og mengden tilbakespylingsvann ble redusert med 50% ved bruk av aktivert karbon sammenlignet med sand.

2.7 Bruk av alkalisk filtermasse

Det er utført en rekke undersøkelser av pH-verdiens innvirkning på overlevelse av mikroorganismer. De fleste er gjort på avløpsvann eller kalkstabilisert slam, ikke på vann som har vært filtrert gjennom alkalisk filtermasse. Det er også utført noen få undersøkelser av andre vann typer (vanlig råvann og destillert vann). Tabell 5 viser en sammenstilling av disse resultatene.

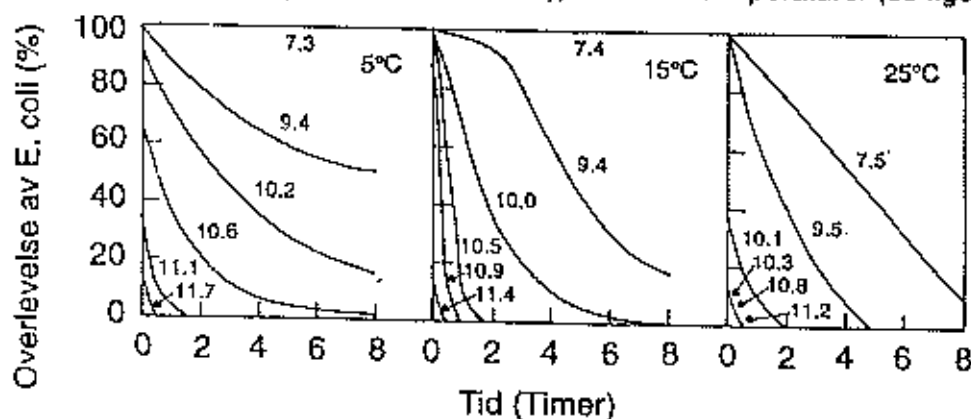
Tabell 5. Sammenstilling av renseeffekter ved ulike pH verdier (spored. bakt. = sporedannende bakterier)

Referanse	Renseeffekt (%)			pH	Kontakt- tid (timer)	Medium etc.
	Koli- forme	<i>Salmonella</i> <i>typhosa</i>	Annet			
Riehl et.al, 1952	80	10	-	9.4-9.5	8	Klart vann, 15°C
	100	65-98	-	10	8	
	60	-	-	9.2-9.5	8	Turbid vann 15°C
	70	95	-	10.2	8	
Doyle, 1967	~ 100	~ 100	-	9.5-10	10	Stabilisert slam
	~ 100	-	-	11-11.5	2	
	-	-	Poliovirus: 99	9.6	36	
Farrel et.al, 1971	100	99	Parasittegg Spored. bakt.: Liten	11.5	24	Stabilisert slam
	100	99	-	11.5	0.5	
	19	99	-	10.5	0.5	
EPA, 1975	100	-	Patogene: 100	12	-	Stabilisert slam
Morrison and Martin, udatert	100	-	-	11.5	Kort tid	Forsøk med bakterier i avløp ved lav temp. 1°C
Lijklema, 1969	Ødeleggende for biologiske prosesser			> 11.5	-	Avløpsvann

Som tabellen viser er de fleste forsøkene gjort med høyere pH-verdi enn hva som vil kunne oppnås/er ønskelig å oppnå i drikkevannssammenheng, og ved relativt lange oppholdstider i forhold til den kontakttiden vannet vil ha i et alkalisk filter.

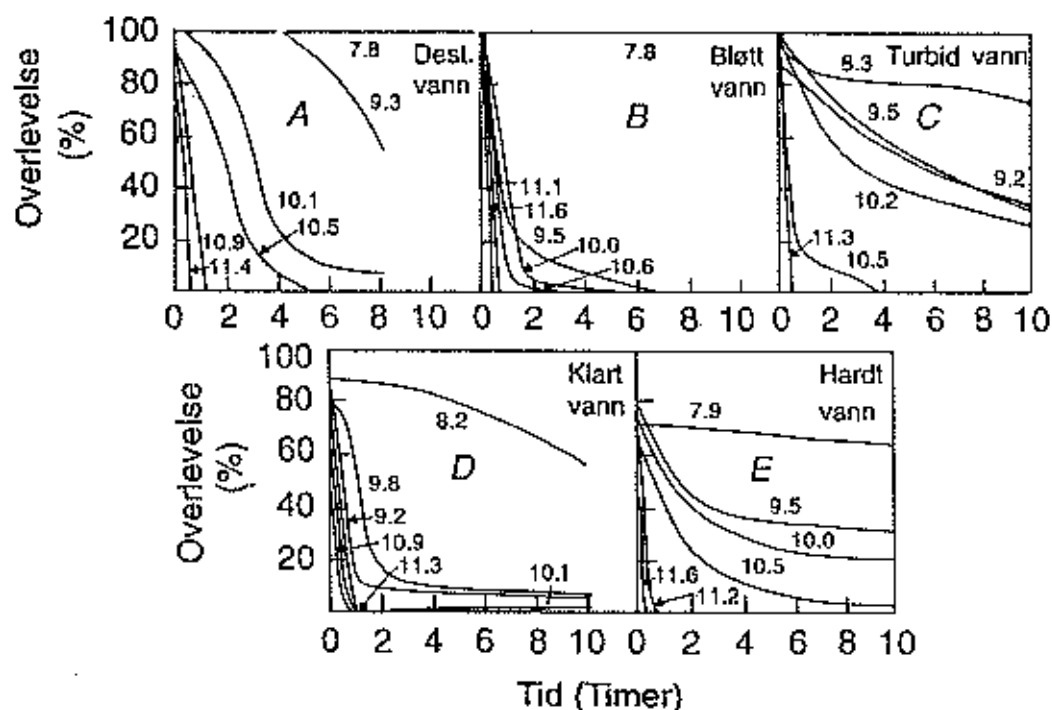
Forsøk gjort med kloakkvann eller kloakkslam, eller turbid råvann viser at man kan oppnå nær 100% renseeffekt for koliforme bakterier og sykdomsfremkallende bakterier ved pH ned til 9.5. Forutsetningen er imidlertid relativt lang oppholdstid, 8-10 timer (Doyle, 1967, Riehl et.al., 1952). Parasittegg (f.eks. spolorm) og sporedannende bakterier fjernes ikke (iflg. Farrel et.al., 1974) selv med pH 11.5 i 24 timer.

En rekke andre andre faktorer har betydning for renseeffekten ved høy pH. Riehl et.al. (1952) gjorde forsøk med kalking av ulike råvannskvaliteter (destillert vann, klart vann, turbid vann, hardt vann (800 ppm totalt saltinnhold)) ved ulike temperaturer (se figur 7).



Figur 7. Overlevelse av *E. coli* i destillert vann ved ulike pH verdier og ved ulike temperaturer (Riehl et.al., 1952).

Temperaturen spiller en betydelig rolle for renseeffekten. Renseeffekten synes å være betydelig lavere ved lave temperaturer. Dette gjelder særlig for lave pH-verdier. Ved pH 9.4 etter 8 timers oppholdstid økte renseeffekten fra 50% ved 5°C til 80% ved 15°C og til 100% ved 25°C. Ved pH 7.5 ble renseeffekten funnet å være 0 ved 5°C og 15°C, men 90% ved 25°C og 8 timer. Figur 8 viser overlevelse av *E.coli* ved ulike vannkvaliteter.



Figur 8. Overlevelse av *E.coli* ved ulike pH verdier for ulike vannkvaliteter ved temperatur 15°C (Riehl et.al., 1952).

- A: destillert vann B: Lancaster, Ohio, bløtt vann
 C: Scioto turbid vann, D: Scioto klart vann
 E: New Rome, Ohio, hardt vann (800 mg/l totalt saltinnhold)

Som figuren viser synes renseeffekten å være størst for klart, bløtt naturlig vann, mens renseeffekten var mindre for turbid og hardt vann. Dette er ventet da en pH-økning i hardt vann vil gi mindre endringer i ionesammensetningen og dermed mindre miljøendringer for organismene. Man har erfaring for at mikroorganismer innkapslet i partikler er beskyttet mot desinfeksjonsmidler. Det antas at det samme gjelder for vann med høy pH.

Ulike bakterier har ulik toleranse overfor høy pH. Ifølge Doyle (1967) tåler *E.coli* i slam pH 12.5 uten problemer, mens *Salmonella typhosa* tåler pH opp til 10.5. Her kan *E.coli* være en tvilsom indikatorbakterie for bakteriologisk forurensning.

2.8 Hurtigfilter som hygienisk barriere

Statens Institutt for Folkehelse (Folkehelse, 1987b) krever at drikkevannet skal beskyttes mot forurensning ved to uavhengige hygieniske barrierer. For overflatevannkilder kan slike hygieniske barrierer være:

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

To uavhengige hygieniske barrierer kan også være innebygget i selve vannbehandlingsanlegget. Prosessene må her være av ulik karakter, slik at forurensningene angripes fra ulik vinkel. F.eks. vil kjemisk felling og desinfeksjon, eventuelt med filtrering gjennom aktivert karbon, ofte anses som to uavhengige hygieniske barrierer og derved tilfredsstillende hygienisk sikring, mens dobbelt klorering ikke er tilfredsstillende. Det er viktig at barrierene virker uavhengig av hverandre slik at en svikt i den første ikke medfører at den andre automatisk også settes ut av spill.

Det vil være vanskelig å få etablert to hygieniske barrierer mot protozocyster som er motstandsdyktige ovenfor vanlige desinfeksjonsmidler uten å ha en fysisk (-kjemisk) separasjonsprosess. Ettersom *Giardia* også kan smittes via ville dyr kan det være problematisk å beskytte nedbørsfeltet tilstrekkelig. Et filter kan ikke erstatte kravet om beskyttelsestiltak i vannkildens nedbørsfelt, men kan være et viktig supplement og kan gjøre desinfeksjon mer effektiv.

Som vist i kap. 2.5 kan hurtigfilter effektivt redusere innholdet av mikroorganismer i vannet, og synes å være særlig effektivt ovenfor større organismer, som f.eks. protozocyster som *Giardia* og *Cryptosporidium*.

Som vist i tabell 4 synes det som om det er meget stor forskjell på hvilke resultater man kan oppnå ved hurtigfilter på den ene siden og hurtigfilter med koagulering eller langsomfilter på den andre siden. Godt drevne hurtigfiltre har/kan ha renseeffekt i tilnærmet samme størrelsesorden som dårlig drevne filtre med koagulering og/eller umodne langsomfiltre. Dette forutsetter imidlertid lav og jevn filtreringshastighet (lavere enn 10 m/time) liten kornstørrelse på filtermediet (0,3-0,5 mm), godt drevet anlegg der modningsvannet etter filterspyling går til avløp. Man bør også ha mulighet for å tilsette koagulant i kritiske perioder. I følge Logsdon (1990) er koagulering en essensiell faktor ved fjerning av mikroorganismer ved filterhastigheter høyere enn 2,4 m/time.

Aikalisk filtermasse (pH ca. 10) vil kunne gi en beskjeden tilleggseffekt som hygienisk barriere for enkelte bakterier. Dette forutsetter imidlertid relativt lang oppholdstid etter filtrering (8 timer), noe som normalt ikke er realistisk.

3 Erfaringer fra norske vannverk

Det ble ved Vestfold Interkommunale Vannverk (VIV) gjennomført en studie av vannkvaliteten før og etter filtrering (sandfilter nr. 2) i perioden 09.11 - 22.12.93.

Filterdybden er 130 cm, kornstørrelsen 1-2 mm og filtreringshastigheten var 6.5-7.5 m/time ved disse undersøkelsene. Filteret ble spylt hver 14. dag. Det ble tatt prøver av vannet etter alkalisering og før filtrering og etter filtrering. Følgende parametre ble analysert:

temperatur ($^{\circ}\text{C}$ (råvann)), kimtall (ant./ml), koliforme bakterier (ant./100 ml), termotolerante koliforme bakterier (ant./100 ml) og turbiditet (FTU).

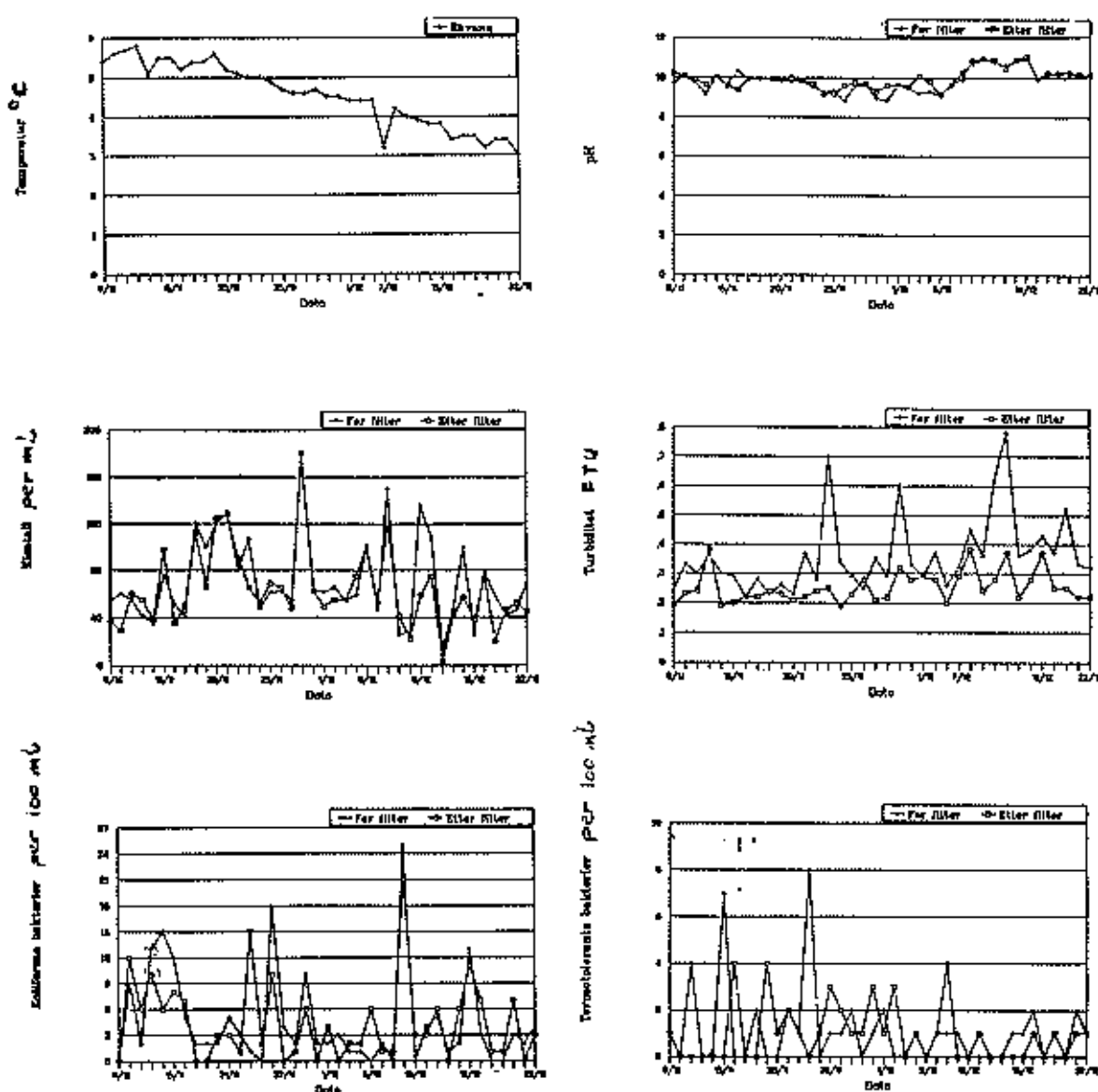


Figure 9. Vannkvalitetsmålinger før og etter filter nr. 2 09.11 - 22.12.93. Vestfold Interkommunale vannverk (Mollatt, 1994)

Fig. 9 viser en oversikt over vannkvalitetsvariasjonene i prøveperioden. Som figuren viser var renseeffekten relativt beskjeden med hensyn på de målte parametre, men det kan synes som om filteret tok noen av toppene av turbiditeten. Turbiditeter høyere enn 0.4-0.5 FTU bestod i hovedsak av hoppekreps som ble fjernet i filteret. Midlere reduksjon ved filtrering var for:

Kimtall: ca. 10%

Koliforme bakterier: ca 15%

Reduksjon av termotolerante koliforme bakterier (TKB) ble ikke beregnet da det i utgangspunktet var meget lave verdier av TKB i vannet før filtrering (19 av 40 prøver hadde 0 TKB/100 ml).

Det ble utført statistisk analyse (T-test) av kimtall og koliforme bakterier for å vurdere om reduksjonen var signifikant. Det ble funnet en signifikant reduksjon av kimtall og av koliforme bakterier.

Det ble videre utført ANOVA analyse (variasjonsanalyse) for å finne eventuell effekt av tid etter spyling. Det var her ingen signifikant sammenheng mellom tid etter spyling og reduksjon av kimtall eller koliforme bakterier (KB).

Resultatene fra forsøkene ved VIV støtter de konklusjonene vi finner i litteraturen. Kornstørrelsen på filtermediet er såpass stor at renseeffekten mhp. fjerning av bakterier blir relativt beskjeden.

4 Konklusjon

Litteraturundersøkelse og undersøkelser ved norske vannverk viser at hurtigfiltrering ikke er en fullgod løsning der råvannet ofte har et høyt innhold av potensielt sykdomsfremkallende mikroorganismer. I slike tilfeller vil direktefiltrering, membranfiltrering eller langsomsandfilter være mere passende behandlingsmetoder. Derimot kan hurtigfiltrering være aktuelt der råvannet normalt er hygienisk tilfredsstillende, men mikrobiell forurensning kan opptre i kortere perioder, som f.eks. i flomperioder eller i sirkulasjonsperioder i råvannskilden.

Hurtigfiltrering vil aldri kunne bli en erstatning for desinfeksjon eller for beskyttelsestiltak i kildens nedbørfelt, men vil være en viktig og kanskje nødvendig sikring der potensielt sykdomsfremkallende bakterier opptre sporadisk i råvannet.

Dersom hurtigfiltrering skal ha høy renseeffekt mhp. sykdomsfremkallende mikroorganismer må filteret ha et relativt finkornig filtermedium. Kornstørrelsen på filtermediet bør fortrinnsvis være mindre enn 0,5 mm. Filterhastigheten bør være mindre enn 10 m/h, og modningsvannet etter filterspyling må sendes til avløp.

Renseeffekten mhp. mikroorganismer øker med økende størrelse på organismene. Dette innebærer at selv om renseeffekten for indikatorbakterien *E.coli* er beskjeden, kan filteret være en effektiv hygienisk barriere for protozocyster som *Giardia* og *Cryptosporidium*. Siden de sistnevnte organismene er svært resistente overfor tradisjonell desinfeksjon, vil et hurtigsandfilter kunne være en minimumsbehandling dersom det er fare for at disse organismene kan opptre i råvannet.

5 Forslag til videre arbeid

Det foreslås å gå videre med følgende forsøk:

1. Det utføres laboratorieforsøk med noen karakteristiske vannkvaliteter for vurdering av hvordan mikroorganismene er tilknyttet partikler i vannet. Som en bakgrunn for vurdering av filtreringseffekten av filtermasser med ulik kornstørrelse, ønsker man å vurdere hvilke partikkelfraksjoner som inneholder flest bakterier. Noen utvalgte vannkvaliteter studeres nærmere mhp. bakterieantall i ulike partikkelfraksjoner.
2. Det utføres kontrollerte pilotforsøk der effektiviteten av filtrering mhp. fjerning av bakterier kan studeres under varierende forsøksbetingelser. Følgende forsøksbetingelser er aktuelle:

- * Filtermedium: sand alene eller kombinert med antrasitt
- * Kornstørrelse: 0.3 - 0.5 mm (eller annet på bakgrunn av resultater fra laboratorieforsøket).
- * Filterdybde: >1 m
- * Filterhastighet: 5 - 15 m/h.
- * Råvannskvalitet: Koliforme bakterier > 10 ant/100 ml.
Turbiditet: 0.2 - 2 FTU (eller annet på bakgrunn av resultater fra laboratorieforsøket).

Det er ønskelig å studere effektiviteten av bakteriefjerning også over et alkalisk filter.

I pilotforsøkene tas det sikte på å ta daglige stikkprøver av innløpsvann og filtrert vann. Prøvene analyseres mhp. koliforme bakterier (evt. også termotolerante koliforme bakterier dersom det er tilstrekkelige mengder i råvannet). Det gjennomføres kontinuerlige målinger av turbiditet av utløpsvann- og evt. av innløpsvann. Ved bruk av alkalisk filtermasse måles også ledningsevne og pH i utløpsvannet.

Pilotforsøkene bør fortrinnsvis gjennomføres ved et vannverk med en relevant råvannskvalitet. Dersom man ikke finner vannverk med tilstrekkelig forurenset råvann, kan antallet bakterier i råvannet økes kunstig ved tilsetning av meget små mengder kloakk.

Aquateam finner fram til egnet anlegg for videreføring og undersøker om det aktuelle anlegget er interessert i å delta. Aquateam utarbeider forslag til videre arbeider med framdriftsplan og ressursbruk. Dette diskuteres med styringsgruppen.

6 Referanser

Al-Ani, M.Y., Hendricks, D.W., Logsdon, G.S. and Hibler, C.P. (1986): Removing *Giardia* cysts from low turbidity waters by rapid filtration. *AWWA J.* 78 (5), May, 86, s. 66-74.

Bellamy, W.D., Hendricks, D.W. and Logsdon, G.S. (1985): Slow sand filtration: Influences of Selected Process Variables. *AWWA J.* Dec. 1985, 77 (12), s. 62-66.

Bjørndalen, K. (1988): Driftsoppfølging av vannverk. Fylkesrapport nr. 1 Østfold. Folkehelsas vannrapport nr. 64.

Brisou, J.F. (1965): Mechanismes Physico-Chimiques de l'Auto-Epuration de l'Eau de Mer. *Revue Hyg. Méd. Soc.* 13 (5), s. 359-374.

Cartwright, P.S. (1988): Membrane Separation Processes for Industrial Effluent Treatment. H.H. Hahn and R. Klute (Eds) Pretreatment in Chemical Water and Waste Water Treatment.

Cleasby, J.L., Hilmo, D.J. and Dimitracopoulos, C.J. (1984): Slow Sand and Direct In-line Filtration of a Surface Water. *AWWA J.* Dec. 1984, 76 (12), s. 44-55.

Doyle, C.B. (1967): Effectiveness of High pH for Destruction of Pathogens in Raw Sludge Filter Cake. *Journal WPCF*, s. 1403-1409.

EPA (1975): Lime Stabilized Sludge. Its Stability and Effect on Agricultural Land. EPA - 670/2 - 75 - 012 Environmental Protection Technology Series.

EPA (1984): Drinking Water Microbiology. EPA 507 0/9 - 84 - 006. NATO. CCM 128 Drinking Water Pilot Project Series Eds. Dean O'Cliver & Ruth Newmann, 1984.

Farrell, J.B., Smith Jr., J.E., Hathaway, S.W. and Dean, R.B. (1974): Lime Stabilization of Primary Sludges. *J. WPCF* 46 (1), s. 113-122.

Folkehelsa (1987a): Kvalitetsnormer for drikkevann. Veiledningshefte G2 i Folkehelsa's veiledningsserie Drikkevann.

Folkehelsa (1987b): Beskyttelse av overflatevannkilder. Veiledningshefte A4 i Folkehelsas veiledningsserie Drikkevann.

Folkehelsa (1989): Smittestoffer som kan overføres via vann. Veiledningshefte G5 i Folkehelsa's veiledningsserie Drikkevann.

Fonahn, W. (1993): Driftsoppfølging av vannverk. Fylkesrapport Akershus, Folkehelsas vannrapport nr. 85.

Grease, S.L., Snoeyink, V.L. and Lee, R.G. (1987): GAC Filters Adsorbers. *AWWA RF Research Report*. Subject Area: Water Treatment and Operations.

Guy, M.D., McIver, J.D. and Lewis, M.J. (1977): The Removal of Virus by a Pilot Treatment Plant. *Water Res.* 11 (5), s. 421-429.

- Hem, L.J., Vik, E.A., Weideborg, M. og Nøsgård, B.S. (1992): Pilotforsøk med korrosjonskontroll ved Asker og Bærum Vannverk (ABV), dosering av mettet kalkvann og CO₂. Aquateam rapport 93-035.
- Hendricks, D.W. (1988): Filtration of *Giardia* cysts and other particles under treatment plant conditions. AWWA RF Research Report. Water Quality Analysis.
- Himmelstein, K.W., Hartmann, D.J. and DeMarco, J. (1990): Quality considerations of implementing field scale granular activated carbon (AWWA) Technology Conference Proceedings. Advances in Water Analysis and Treatment. Nov. 11-15, 1990, San Diego, California, s. 387-406.
- Hongve, D. (1993): Datautskrift fra Folkehelse's spormetallprosjekt.
- Hyde, R.A., Hill, D.G., Zabel, T.F. and Burke, T. (1986): Granular activated carbon as sand replacement in rapid gravity filters. Proceedings Annual Conference AWWA, Denver 1986, s. 125-143.
- Kavanaugh, M.C. and Vagenknecht (1975): Experiments from Water Treatment Plants in Zürich.
- Kihlstrøm, B. (1993): Driftsoppfølging av vannverk. Fylkesrapport Oppland, Folkehelsas vannrapport nr. 75.
- Kristiansen (1992): Årsrapport om drikkevann i Oslo 1991. Oslo vann- og avløpsverk, august.
- Kvernørd, I.A., Martinsen, T. og Lund, V. (1993): Driftsoppfølging av vannverk. Fylkesrapport S. Trøndelag, Folkehelsas vannrapport nr. 86.
- Lijklema, L. (1969): Factors affecting pH change in Alkaline Waste Water Treatment. Wat. Res. 1969, 3, s.913-930.
- Logsdon, G.S. (1990): "Microbiology and Drinking Water Filtration". Ch. 6 in "Drinking Water Microbiology". Eds: Gordon A. Mc. Feters. Brock/Springer Series.
- Lund, V. (1985): Overlevelse av mikroorganismer i vann. Relasjon til menneskelig helse - et litteraturstudium. Rapport 13/85 fra NTNUs utvalg for drikkevannsforskning.
- Lund, V. (1993): Personlig kommunikasjon.
- Mackie, R.I. and Bai, R. (1993): The role of particle size distribution in the performance and modelling of filtration. Wat. Sci. Tech. 27 (10) s. 19-34.
- Martinsen, T og Ellingsen, K. (1993): Driftsoppfølging av vannverk. Fylkesrapport Nordland, Folkehelsas vannrapport nr. 87.
- Masschelein, W.J. (1979): Filter powders and diatomite powders in particular. H₂O, 1979, 12 (22), s. 494-504.
- Morrison, S.M. and Martin, K.L: Lime Disinfection of Sewage Bacteria at Low Temperature. Note from Colorado State University. Dep. of Microbiology. Udatert.

- Mollat, S. (1994): Vannkvalitetsdata fra VIV før og etter filtrering. 09.11 - 22.12.93.
- Oram, B.F. and Ghosh, M.M. (1978): Removal of *Giardia* cysts and other contaminants using uncoated and alum coated diatomaceous earth. Proceedings AWWA annual Conference June 14-18, 1987, s. 437-441.
- Ormerod, K.S. (1993): Driftsoppfølging av vannverk, Fylkesrapport Rogaland, Folkehelsas vannrapport nr. 88.
- Pontius, F.W. (1990): Complying with the new drinking water quality regulations. AWWA, February, pp 32-52.
- Riehl, M.L., Weiser, H.H. and Rheins, B.T. (1952): Effect of Lime-Treated Water Upon Survival of Bacteria. AWWA J. May 1952, s. 466-470.
- Robeck, G.G., Clarke, N.A. and Dostal, K.A. (1962): Effectiveness of water treatment processes in virus removal. AWWA J. 1962, 52, s. 1275-1292.
- Satar, S.A. (1981): Virus Survival in Receiving Waters. in "Virus and Waste-Water Treatment" (red. M. Goddard & M. Butler). Pergamon Press, s. 91-108.
- Sayler, G. S., Nelson Jr, J.D., Justice, A. and Colwell, R.R. (1975): Distribution and Significance of Fecal Indicator Organisms in the upper Chesapeake Bay. Appl. Microbiol. 30, s. 625-638.
- Schuler, P.F., Ghosh, M.M. and Gopalan, P. (1991): Slow sand and diatomaceous earth filtration of cysts and other particulates. Wat. Res. 25 (8), s. 995-1005.
- Smoluchowski, M. (1917): Z. Physic. Chem. 92. s. 129-168.
- Sriramulu, N. (1976): Dual media coal-sand filter and its virus removal potential. Indian J. Envir. Health, 1976, 18 (2), s. 77-86.
- Stetler, R.F., Waltrip, S.C. and Hurst, C.J. (1992): Virus removal and recovery in the drinking water treatment train. Wat. Res. 1992, 26 (6), s. 727-731.
- Vik, E.A. (1980): Rapid granular media filtration. Seattle, Mars 1980. NIVA-notat xT-25.
- Weideberg, M., Lundar, A., Wiig, P.O., Ording, F., Vik, E.A., Storhaug, R. og Gaut, A. (1991): "Drikkevann i Troms. Vannforsyning til Storsteinnes i Lyngøen. Fase II: Pilotforsøk. Rapport 2". Aquateam-prosjekt O-8834.
- WRC (1992): Evaluation of the microbiological performance of full scale treatment processes.
- World Health Organization (1984): Guidelines for Drinking Water Quality. Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information, WHO, Geneve 1984.
- Yahya, M.T., Cluff, C.B. and Gerba, C.P. (1993): Virus removal by slow sand filtration and nanofiltration. Wat. Sci. Tech. 27 (3-4), s. 445-448.
- Yao, K.M., Habibian, M.T. and O' Mella, C.R. (1971): Water and Wastewater Filtration: Concepts and Applications. Env. Sch. & Tech. 5 (11), nov.

Østerhus, S.W. (1993): Pilotforsøk med korrosjonskontroll og fargefjerning - Jonsvatnet
SINTEF-NHL rapport nr. STF 60 A 93065.