

Miljøprojekt Nr. 715 2002

Undersøgelse af vandbehandlingsmetoder på en række danske vandværker

Christian Stamer
Krüger A/S

Jens Nonboe Andersen
Rambøll

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
1 INDLEDNING	11
1.1 BAGGRUND	11
1.2 FORMÅL MED PROJEKTET	13
2 UDVÆLGELSE AF ANLÆG	15
2.1 METODE VED UDVÆLGELSE	15
2.2 DE UDVALGTE VÆRKER	15
2.3 PARAMETRE DER INDGÅR I UNDERSØGELSEN	16
2.4 DATABEARBEJDNING	16
3 BESKRIVELSE AF VANDVÆRKER	17
3.1 UNDERSØGELSENS GENNEMFØRELSE	17
3.1.1 <i>De udvalgte anlæg</i>	17
3.1.2 <i>Acceptskrivelse og dens indhold</i>	18
3.1.3 <i>Beskrivelse af vandværkerne</i>	18
3.2 DE ENKELTE VÆRKER	20
3.2.1 <i>Pilegård Vandværk</i>	20
3.2.2 <i>Brede Vandværk</i>	20
3.2.3 <i>Græsted Vandværk</i>	20
3.2.4 <i>Alsønderup Vandværk</i>	21
3.2.5 <i>Nejede-Møllehøj Vandværk</i>	21
3.2.6 <i>Hundested Vandværk</i>	21
3.2.7 <i>Haraldsborg Vandværk</i>	21
3.2.8 <i>Stigs-Bjergby Vandværk</i>	22
3.2.9 <i>Kr. Eskilstrup Vandværk</i>	22
3.2.10 <i>Nr. Eskilstrup Vandværk</i>	22
3.2.11 <i>Blangslev Vandværk</i>	23
3.2.12 <i>Petersgård Avlsgårds Vandværk</i>	23
3.2.13 <i>Stensved Vandværk</i>	23
3.2.14 <i>Gammelsø Vandværk I/S</i>	23
3.2.15 <i>Udby Vandværk</i>	24
3.2.16 <i>Udby-Rolund og Føns Vandværk</i>	24
3.2.17 <i>Lejbølle Vandværk</i>	24
3.2.18 <i>Kværndrup Vandværk</i>	25
3.2.19 <i>Lysabild Vandværk</i>	25
3.2.20 <i>Oksbøl Gl. Vandværk</i>	25
3.2.21 <i>Endrup Vandværk</i>	25
3.2.22 <i>Strandhuse - Nr. Bjert Vandværk</i>	26
3.2.23 <i>Ejstrupholm Vandværk</i>	26
3.2.24 <i>Aulum Vandværk, Gl. anlæg</i>	26
3.2.25 <i>Stadil Vandværk</i>	27
3.2.26 <i>Hårby Vandværk</i>	27
3.2.27 <i>Auning Vandværk I/S, Nordre</i>	27
3.2.28 <i>Lyngby Vandværk, Århus</i>	27
3.2.29 <i>Ørslevkloster Vandværk</i>	28

4	BESKRIVELSE AF RÅVAND	29
4.1	PROBLEMSTOFFER	29
4.1.1	<i>Metan</i>	29
4.1.2	<i>Svovlbrinte</i>	29
4.1.3	<i>Ammonium</i>	29
4.1.4	<i>Aggressiv kulsyre</i>	30
4.1.5	<i>Andre stoffer</i>	30
4.2	PROBLEMOMRÅDER	30
4.2.1	<i>Metanområder</i>	30
4.2.2	<i>Svovlbrinte</i>	30
4.2.3	<i>Ammonium</i>	30
4.2.4	<i>Aggressiv kulsyre</i>	31
5	PRØVETAGNING OG ANALYSE AF VANDPRØVER	33
5.1	PRØVETAGNING	33
5.2	METODER	34
5.3	RAPPORTERING AF ANALYSERESULTATER	34
6	VURDERING AF OPNÅEDE RESULTATER	35
6.1	GENERELT OM UNDERSØGELSEN	35
6.2	KVALITETSKRAV	36
6.2.1	<i>Overskridelser af kvalitetskrav til behandlet vand</i>	36
6.3	RÅVAND	39
6.3.1	<i>Blandet råvandskvalitet</i>	41
6.4	FORBEHANDLING	42
6.4.1	<i>Beluftning</i>	42
6.4.2	<i>Fjernelse af kalkaggressivitet</i>	46
6.5	FILTRERING	46
6.5.1	<i>Filtertyper og -hastigheder</i>	47
6.5.2	<i>Udnyttelse af anlæggenes filter kapacitet</i>	53
6.5.3	<i>Filtermaterialer og afsætning af jern i filter</i>	56
6.5.4	<i>Tilledning og omsætning af ammonium i filtre</i>	59
6.5.5	<i>Effekt af filterskylning på jernindhold</i>	60
6.5.6	<i>Effekt af filterskylning på ammoniumindhold</i>	62
6.6	SAMMENFATNING	63
6.7	OPFØLGNING	65
7	REFERENCER	67

Appendiks

Appendiks 1 Skrivelse til udvalgte vandværker

Appendiks 2 Oversigter over resultater af analyser af råvand og af behandlet vand

Appendiks 3 Oversigt over tidspunkter for prøvetagninger og filterskylninger

Appendiks 4 Beskrivelser af de enkelte vandværker samt tilhørende analyserapporter fra R. DONS' Vandanalytisk Laboratorium og udvalgte resultater af on-line målinger på vandværkerne

Forord

Nærværende projekt er udført inden for Vandfondens Program til Sikring og Forbedring af Drikkevandskvaliteten. Vandfonden blev oprettet i 1997 med det formål at støtte de mindre vandforsyninger i Danmark. Fondens midler administreres af et Vandråd, der består af repræsentanter fra Danske Vandværkers Forening, Danmarks Private Vandværker, Kommunernes Landsforening, Københavns Kommune, Amdsrådsforeningen, Danmarks Naturfredningsforening, De Danske Landboforeninger og Dansk Familielandbrug. Viceborgmester i Nibe Kommune, Elin Møller er formand for rådet. Vandrådets sekretariat er placeret i Miljøstyrelsen.

Programmet til Sikring og Forbedring af Drikkevandskvaliteten angår en mindre del af Vandfondens midler, som er afsat til støtte til generelle projekter, som har til formål at opretholde den decentrale vandforsyning på længere sigt. Det primære mål med programmet er at udbygge den eksisterende viden om faktorer, der påvirker drikkevandets kvalitet, fra det bliver indvundet, behandlet på vandværket, og til det bliver distribueret til forbrugerne.

Det gennemførte projekt omfatter konkret undersøgelse af vandbehandlingsmetoder på en række danske vandværker.

Projektet har været fulgt af en styregruppe med følgende medlemmer

- Christian Ammitsøe, Miljøstyrelsen (formand)
- Janne Forslund, Miljøstyrelsen
- Tina Otterstrøm, Miljøstyrelsen
- Johannes Engsig, Århus Amt
- Erik Arvin, IMT ved DTU
- Christian Stamer, Krüger A/S.
- Jens Nonboe Andersen, RAMBØLL.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Krüger A/S og RAMBØLL. Vandkemiske analyser i projektet er udført af R. DONS' Vandanalytisk Laboratorium.

Sammenfatning og konklusioner

Ved projektet er vandbehandlingen undersøgt på 29 mindre danske vandværker og et enkeltindvindingsanlæg, de fleste med erkendte overskridelser af drikkevandskvalitetskravene. Undersøgelserne har haft til formål at få opstillet en række anbefalinger til forbedring af de undersøgte vandværker, samt anbefalinger af generel karakter om bestemte vandbehandlingsanlæg til de forskellige vandtyper.

Udvælgelse af vandværker til projektet er foretaget på baggrund af udtræk fra GEUS database over indberetninger af drikkevandskvalitet. Ved udtrækkene er der identificeret værker med observerede overskridelser af drikkevandskvalitetskravene. Vandværkerne er udvalgt således at materialet dækker forskellige råvandskvaliteter, der behandles på værkerne ved hjælp af forskellige typer anlæg. Samtidig er der ved udvælgelsen af anlæg taget hensyn til at få en væsentlig repræsentation af værker, der har overskridelser af kvalitetskravene for de udvalgte kemiske parametre, der er valgt som analysegrundlag ved undersøgelsen.

Undersøgelsen vedrører de behandlingsmetoder, dvs. luftning samt enkelt eller dobbeltfiltrering i åbne eller lukkede anlæg, som er hyppigst anvendte på danske vandværker. Der er indhentet systematiserede anlægs- og driftsdata fra de medvirkende vandværker, hvor niveauet for de leverede oplysninger er varierende, men giver en rimelig tilfredsstillende dækning for undersøgelsen som helhed. Medvirkende hertil har været de informationer, der er indhentet ved besøg, måling og prøvetagning trin for trin i behandlingen, som er udført på de enkelte værker.

De indhentede data ved undersøgelsen omfatter de væsentligste kemiske parametre med relation til den traditionelle vandbehandling på danske vandværker. Disse er: Ilt, metan, svovlbrinte, jern, mangan, ammonium, nitrat, nitrit, pH og aggressiv kuldioxid. Der er udført 6 vandprøvetagninger og analysering på hvert vandværk samt målt turbiditet ved kontinuert måling på værkerne.

Der indgår en række forhold, som er betydende for opnåelse af en acceptabel vandbehandling. Som de væsentligste kan nævnes: Udluftning af uønskede gasser fra råvandet, iltning af råvandet, filterhastighed, filtermateriale, stoffjernelse i filtrene samt filterskylning og i tilknytning hertil den umiddelbare effekt på vandkvaliteten, som skylningen giver anledning til.

Der er ved undersøgelsen vist forskelligartede problemer med vandbehandlingen, som omhandler råvandets kvalitet, beluftningens effektivitet og forskellige anlægs- og driftsmæssige forhold ved filtreringen.

Sammenfattende afdækker projektets resultater en række kategorier af problemer for de undersøgte værker. De fleste af disse vurderes at være typisk forekommende på mindre vandværker.

Indvinding af forskellige råvandstyper til et vandværk viser sig ofte problematisk for vandbehandlingen på et mindre vandværk, især da

behandlingsanlægget sjældent er indrettet til den regulering af eksempelvis beluftningsanlægget, som vil være en forudsætning for indvinding af eksempelvis råvand med og uden metan.

Overkapacitet og drift med fuld belastning i få dagtimer er vurderet som medårsag til problemer for mange af værkerne i undersøgelsen. Problemer med anlægsmæssig overkapacitet har sammenhæng med det generelt faldende vandforbrug i dansk vandforsyning, og problemer med vandbehandlingen opstår, når driften af anlægget ikke justeres efter det ændrede grundlag. Det samme kapacitetsmæssige forhold giver også ofte problemer med en unødvendig høj frekvens for filterskylning, som giver anledning til de kvalitetsproblemer ved filtreringen, der har tilhørende og umiddelbar sammenhæng med filtrenes skylning. Dette er i undersøgelsen set ved de udførte on-line turbiditetsmålinger, som er relateret til jernindhold. Et lignende problem med kvaliteten i relation til ammonium i forbindelse med filterskylning er set for enkelte værker i undersøgelsen.

Da undersøgelsen har vist kvalitetsproblemer ved den uhensigtsmæssige driftsform med høj filterbelastning i få dagtimer, er der som en konklusion ved undersøgelsen peget på, at en løsning måske kan være at ændre driften til mere kontinuitet over flere af døgnets timer. En konkret eftervisning af dette, som en brugbar løsning, der giver forbedret vandkvalitet, kan forhåbentlig danne grundlag for ændret praksis på værkerne. Det kunne eksempelvis gøres ved et demonstrationsprojekt på et eller et par værker.

Råvandets forbehandling, eksempelvis ved udluftning af mindre indhold af metan og svovlbriente eller afblæsning af større indhold, er for flere værker i undersøgelsen utilstrækkelig, hvilket for disse værker vurderes at give anledning til problemer efterfølgende med såvel ammoniumomsætningen i filtrene som jernfjernelsen.

Det understreges, at vanskeligt behandleligt råvand med eksempelvis højt indhold af metan forudsætter en beluftning med den nødvendige luftindblæsning, så også højt ammonium kan omsættes tilstrækkeligt i filtrene. Det bemærkes, at problemer med kalkfældning f.eks. som følge af forøget beluftning kræver en særskilt en egnet løsning.

Grundlæggende er det en forudsætning for optimal vandbehandling, at der er tilstrækkeligt ilt til at opfylde iltforbruget ved processerne i filtrene. Dette er ikke altid tilfældet, og især ikke ved høje ammoniumindhold i råvandet. Da der ofte er dobbeltfiltrering på værker med høje ammoniumindhold i råvandet, kan en løsning med supplerende ilttilførsel ud over primær beluftningen være mellemiltning mellem for- og efterfiltre. For værker med den type råvand men uden dobbeltfiltrering, er problemet af anlægsmæssig karakter, som kan være en fejl allerede ved anlæggets dimensionering, og løsning kan da kræve etablering af ekstra filter. Også her kunne en løsning med mellemiltning eftervises ved en form for demonstrationsprojekt på et værk.

I undersøgelsen er det på flere værker konstateret, at trykfilteranlæg med kompressorbeluftning ikke får tilført tilstrækkeligt ilt til vandet, hvilket da giver anledning til at det leverede vand ikke overholder kvalitetskravet for ilt. Der er også modsat set eksempler på, at luft fra kompressorbeluftning ikke afluftes ordentligt inden filtreringen og dermed passerer gennem filtrene med nedsat filtereffektivitet til følge. Da begge typer problemer i flere tilfælde vurderes at være forårsaget af problematisk funktion og vedligeholdelse af anlægget, peger

dette på behov for at få et produkt fra branchens leverandører, der i højere grad er robust og driftsvenligt for mindre vandværker. Trykfilteranlæg er hyppigt anvendte på mindre værker landet over.

Ud over de anførte konkrete problemer er der værker med forskellige former for uhensigtsmæssigt design, og der er eksempler på design med uhensigtsmæssig sammensætning af procestrin og af utilstrækkelig kapacitet af procestrin (f.eks. utilstrækkelig beluftning). Sidstnævnte er ofte for råvand, der kan betegnes som vanskeligt behandleligt og giver derfor markante kvalitetsmæssige overskridelser.

Problemer med jernfjernelsen, som fremgår af undersøgelsen ved generelle overskridelser af kvalitetskravene, kan ofte være forårsaget af det anvendte filtermateriale. Det gælder materialets kornstørrelse, som for kvarts er anvendt i en for grov kornstørrelse, idet finrensningen da ikke er tilstrækkelig. Dette bevirker, at den mængde jern, der som okker afsættes i filtret, er for ringe set i forhold til tidspunktet, hvor der foretages filterskylning. Dette er et behandlingsproblem, der kræver en indsats med udskiftning af filtermateriale til det rigtige valg, og for mange værker vil det ofte samtidigt være relevant at foretage en gennemgang og eventuel reovering af filteranlægget som helhed.

Et andet problem for filtrene kan være, når filterlaget ikke er tilstrækkeligt dybt til at varetage såvel jernfjernelsen som manganfjernelsen. Sådanne filtre har ikke tilstrækkelig højde for ilægning af tilstrækkeligt lag af filtermateriale. Er filterhastigheden samtidig høj, giver det anledning til generelle overskridelser af jern og mangan. Det er vurderet, at problemet med forhøjet mangan kan være større end set ved undersøgelsen, men årsagen er vist.

Ved undersøgelsen er vist flest overskridelser af de gældende kvalitetskrav for jern og for ammonium. Efterfølgende er det ilt, nitrit og mangan. De mest markante overskridelser for jern set ved undersøgelsen vurderes overvejende at have sammenhæng med filterskylningen, der er vurderet som et generelt forekommende problem. Problemer med for ringe fjernelse af metan og svovlbrinte fremgår ikke som kvalitetsmæssige overskridelser som sådan, men undersøgelsen indikerer de tilhørende problemer med fjernelse af ammonium og af jern i filtrene, hvis fjernelsen af metan og svovlbrinte ved råvandets forbehandling er for utilstrækkelig.

Dårlig pasning af drift og ringe vedligeholdelse er desværre et af de mere generelle problemer set i denne undersøgelse. En utilstrækkelig kompetence hos driftspersonalet på de mindre vandforsyningsanlæg synes også problematisk set i lyset af undersøgelsens resultater.

Alt i alt forekommer der at være et opsparet behov for på de mindre almene vandforsyningsanlæg at få et systemiseret check af anlæggene med fokus på funktion. Det gælder funktionen ved den aktuelle råvandskvalitet, effektiviteten af beluftningen, filterbelastningen og skylleprocedurerne samt anlæggets vedligeholdelsesstand.

Undersøgelsen har undersøgt funktionen af de anvendte behandlingsanlæg og effektiviteten af vandbehandlingen i henhold til gældende kemiske kvalitetskrav for drikkevand. Den kontrolmæssige side af vandværkerne har ikke indgået som element i undersøgelsen. Men konsekvenser som manglende overholdelse af kvalitetskravene gennem længere tid er fremkommet ved undersøgelsen, og resultaterne synes dermed også at påpege, at

myndighedskontrollen med de mindre vandforsyningsanlæg trænger til en opstramning. Dette er også af stor betydning som en del af grundlaget for opretholdelse af den decentrale vandforsyning i Danmark, med det store antal relativt små forsyningsanlæg.

1 Indledning

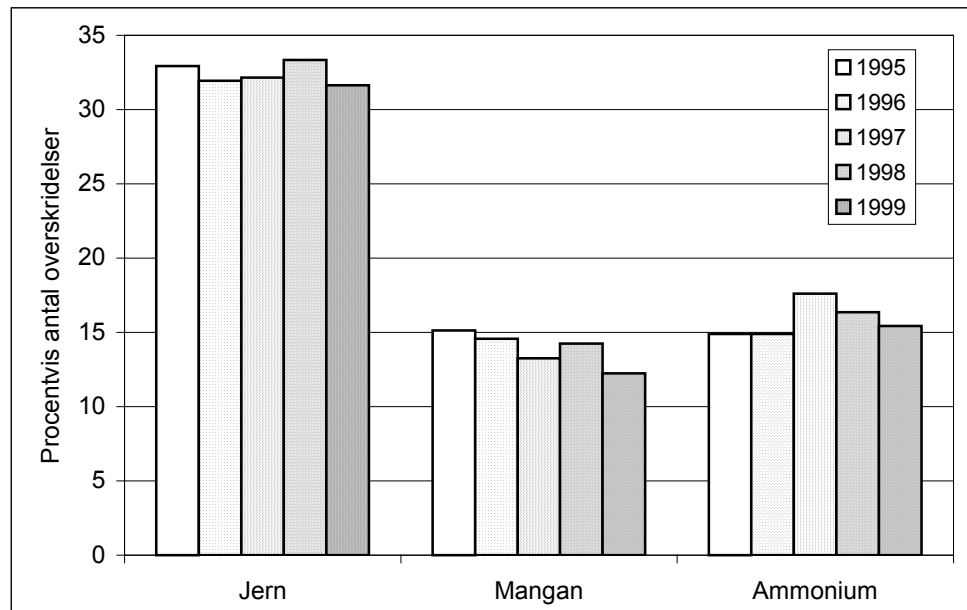
1.1 BAGGRUND

Vandforsyningen i Danmark er i overvejende grad baseret på indvinding af grundvand, som kan anvendes efter en iltningproces efterfulgt af filtrering gennem et eller to sandfiltre. Denne enkle vandbehandling er baggrunden for den udprægede decentrale vandforsyningsstruktur, som dog til stadighed er under ændring. Langt den største del af ledningsført vand stammer fra større, almene anlæg, men de mindre almene anlæg samt de ikke almene anlæg tegner sig for det største antal vandforsyningsanlæg.

Uanset den enkle behandlingsform og den lange tradition for behandling af grundvand i Danmark, viser en stor del af disse mindre vandforsyningsanlæg mangler i overholdelsen af Tilsynsbekendtgørelsens kvalitetskrav til drikkevand (Miljøministeriets bek. nr. 515 af 29. august 1988).

Resultaterne af kontrollen med kvaliteten af udpumpet vand fra vandforsyningsanlæggene indberettes årligt til GEUS, hvor de lagres i en database. I forbindelse med nærværende er antallet af overskridelser af kvalitetskravene til drikkevand opgjort blandt de indberettede vandkvalitetsdata for udpumpet vand i databasen. Der er således opgjort antallet af indberettede overskridelser af den vejledende værdi jf. Tilsynsbekendtgørelsens kvalitetskrav til drikkevand for jern (0,05 mg/l), mangan (0,02 mg/l) henholdsvis ammonium (0,05 mg/l).

FIGUR 1.1 OVERSKRIDELSER AF DE VEJLEDENDE KVALITETSKRAV TIL DRIKKEVAND. Procentvis antal overskridelser opgjort som antal overskridelser i forhold til det totale antal indberetninger til GEUS af kontrolldata for kvaliteten af udpumpet vand fra vandforsynings-anlæg for årene 1995, 1996, 1997, 1998 og 1999 (jf. Tilsynsbekendtgørelsens kvalitetskrav til drikkevand for jern (0,05 mg/l), mangan (0,02 mg/l) henholdsvis ammonium (0,05 mg/l)). Det totale antal indberetninger har i perioden ligget nogenlunde konstant på 3.500 pr. år.



Det procentvise antal overskridelser i forhold til det totale antal indberetninger er vist i figur 1.1 for årene 1995, 1996, 1997, 1998 og 1999. Det ses af figur 1.1, at gennemgående er der for jern fundet overskridelser af den vejledende værdi for kvalitetskravet for omkring 32 - 33 % af de indberettede kontroldata for udpumpet vand. For såvel mangan som ammonium er der fundet overskridelser for omkring 15 % af de indberettede kontroldata.

I figur 1.2 er for 1997 vist det relative antal overskridelser opgjort i forhold til antal indberetninger opdelt efter vandforsyningsanlæggenes størrelser. Størrelserne er angivet ved anlæggenes indvinding opdelt i følgende:

- Indvinding mindre end 35.000 m³/år.
- Indvinding mellem 35.000 og 350.000 m³/år.
- Indvinding mellem 350.000 og 1.500.000 m³/år.
- Indvinding større end 1.500.000 m³/år.

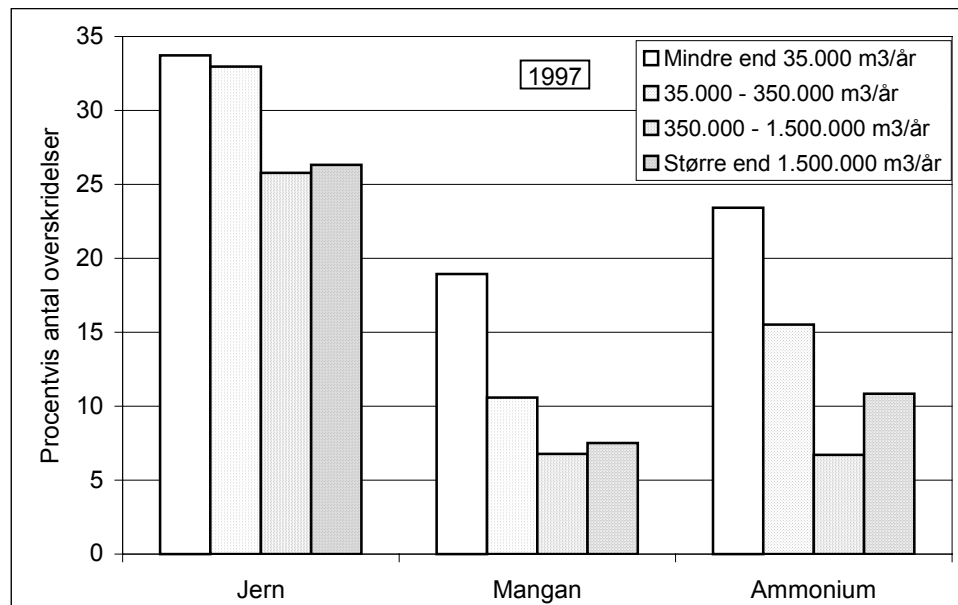
Det ses af figur 1.2, at der er konstateret relativt flest overskridelser på de mindre vandforsyningsanlæg. Dog fremgår det også, at der for især jern også er konstateret ganske mange overskridelser på de større vandforsyningsanlæg.

Det ligger ikke ganske klart, hvorvidt de gentagne overskridelser jf. figur 1.1 og 1.2 skyldes mangler i dimensionering, i udførelsen af anlæggene, eller i driften, herunder vedligeholdelsen.

På denne baggrund er der gennemført et Vandfondprojekt med undersøgelse af vandbehandlingsmetoder på en række mindre danske vandværker. Undersøgelsen vedrører således den traditionelle vandbehandling på danske vandværker og omfatter et større antal målinger af indholdet af ilt, metan, svovlbrinte, jern, mangan, ammonium, nitrit, nitrat, pH og aggressivitet samt kontinuerte målinger af turbiditet på de enkelte vandværker.

FIGUR 1.2 OVERSKRIDELSER AF VEJLEDENDE KVALITETSKRAV TIL DRIKKEVAND. Procentvis antal overskridelser i 1997 opgjort som antal overskridelser i forhold

til det totale antal indberetninger til GEUS af kontroldata for kvaliteten af udpumpet vand fra vand-forsyningsanlæg opdelt efter forsyningsanlæggenes størrelser (jf. Tilsynsbekendtgørelsens kvalitetskrav til drikkevand for jern (0,05 mg/l), mangan (0,02 mg/l) henholdsvis ammonium (0,05 mg/l)). Det totale antal indberetninger i 1997 var ca. 3.500.



1.2 FORMÅL MED PROJEKTET

Undersøgelserne har haft til formål at få opstillet en række anbefalinger til forbedring af de undersøgte, udvalgte vandværker, samt anbefalinger af generel karakter om bestemte vandbehandlingsanlæg til forskellige vandtyper.

Til projektet blev udvalgt et antal vandværker med forskelligartede vandkvalitetsproblemer. Vandbehandlingsprocessen på de udvalgte vandværker blev beskrevet med hovedvægt på iltningssystemet inkl. eventuel henstandsbeholder og filtersystemet. Endvidere blev effektiviteten af vandbehandlingen og eventuelle problemer hermed beskrevet med udgangspunkt i eksisterende kemiske analysedata for værkerne.

Der er herefter udtaget prøver fra anlæggene under normale driftsforhold, dvs. med filtrene i drift og 2 gange i hver af tre filterskylleperioder. Prøverne blev udtaget dels som råvandsprøver før og efter iltningen, dels som rentvandsprøver fra anlæggets filterafgang. Ved dobbeltfiltrering blev der yderligere udtaget prøver mellem filtrene.

Der er foretaget en gennemgang af indholdet af de målte stoffer jern, mangan og ammonium/nitrat samt i relevant omfang for metan og svovlbrinte i de forskellige dele af vandværket for at finde frem til, hvor meget de enkelte stoffer fjernes i hver del af vandværksprocessen. De fundne analyseresultater er præsenteret grafisk og i tabelform for hvert vandværk, så det er muligt at følge effekten af behandlingen gennem vandværket.

2 Udvalgelse af anlæg

2.1 METODE VED UDVÆLGELSE

Udvalgelse af vandværker til projektet er foretaget på baggrund af udtræk fra GEUS database over indberetninger af drikkevandskvalitet. Ved udtrækkene er der identificeret et stort antal værker med observerede overskridelser af drikkevandskvalitetskravene. Der er udvalgt 30 værker til projektet fordelt jævnt over landet.

2.2 DE UDVALGTE VÆRKER

Værkerne er udvalgt således, at de repræsenterer varierende råvandstyper med metanholdigt råvand, kalkaggressivt råvand med lavt pH, råvand med varierende indhold af jern, mangan, ammonium etc.

Ved udvælgelsen af de deltagende værker har det ud over værker med forskellige råvandskvaliteter været et mål at dække forskellige anlægsopbygninger. Således indgår forskellige beluftningssystemer og typer af filtreringsanlæg i undersøgelsen. På baggrund af de fastlagte besøg på de enkelte værker er anlægsopbygningerne beskrevet nærmere. Beskrivelserne omfatter skitser af anlæggene og tilhørende relevante oplysninger om funktion og drift af anlæg.

De udvalgte værker dækker et spekter af beluftnings- og filtreringssystemer. Beluftningssystemerne omfatter varianter af åbne henholdsvis lukkede typer f.eks.: Bundbeluftning, bakkebeluftning, hulplade og frit fald, iltningstrappe, iltningsspiser m.v. henholdsvis kompressor beluftning. Yderligere er der værker med eller uden reaktionsbassin mellem beluftningen og filtreringen.

Tilsvarende omfatter filtreringssystemerne varianter af åbne henholdsvis og lukkede typer. Filteranlæggene er f.eks. for åbne anlæg: Enkeltfiltrering, herunder et anlæg med 2-mediefilter, dobbeltfiltrering, dobbeltfiltrering med mellemiltning samt anlæg med biofiltre. For lukkede anlæg er det enkelt henholdsvis dobbelt trykfiltrering. Hertil kommer åbne såvel som lukkede filtersystemer med neutralisering af kalkaggressivt råvand ved brug af Magno-Dol eller lignende dolomit-filtermateriale.

Det har bl.a. været et væsentligt kriterium ved udvælgelsen af værker til undersøgelsen, at der i det samlede materiale skulle indgå en del af de på forhånd kendte og typiske problemer ved vandbehandlingen og dermed tilhørende overskridelser af kvalitetskrav i Tilsynsbekendtgørelsen.

2.3 PARAMETRE DER INDGÅR I UNDERSØGELSEN

I undersøgelsen indgår en række faktorer, der omhandler behandlingsanlæggets opbygning, drift og vedligeholdelse sat i sammenhæng med råvandstypen. Dernæst er der en række tilhørende målte værdier bestemt ved udvalgte analyseparametre. En oversigt over disse forhold er vist i tabel 2.1.

TABEL 2.1 FORHOLD SOM INDGÅR I UNDERSØGELSEN.

Undersøgte faktorer:	Målte værdier:
<ul style="list-style-type: none">- Forskellige anlægsopbygninger:<ul style="list-style-type: none">- beluftningssystemer,- filtreringssystemer.- Forskellige råvandstyper:<ul style="list-style-type: none">- metanholdigt råvand,- aggressivt råvand,- jernholdigt råvand etc.- Pasning og drift af værkerne:<ul style="list-style-type: none">- belastning,- alternerende drift,- vedligeholdelsesstand,- gangtider og filterskyl.	<ul style="list-style-type: none">- pH,- Jern (Fe),- Mangan (Mn),- Ammonium (NH_4^+),- Nitrit (NO_2^-),- Nitrat (NO_3^-),- Ilt (O_2),- Metan (CH_4),- Svovlbrinte (H_2S),- Aggressivt kuldioxid (CO_2),- on-line målinger. *)

*) Turbiditet og opløst ilt samt visse steder vandstand over filtrene som mål for driftstider.

De kemiske analyser i projektet er udført af R. DONS Vandanalytiske Laboratorium. On-line målingerne er udført med måleudstyr opstillet på de enkelte værker.

2.4 DATABEARBEJDNING

Databearbejdningen med henblik på vurdering af anlæggene omfatter beregning af flere nøgleparametre, som er karakteristiske for driften af værkerne. Det drejer sig bl.a. om råvandskvaliteten, beluftningens effektivitet med hensyn til ilttilførsel og fjernelse af metan og svovlbrinte. Derudover er set på anvendelsen af forskellige filtertyper- og hastigheder i forhold til stoffjernelsen af jern, ammonium etc. men også i sammenhæng med den opnåede effekt af filterskylningen.

Beskrivelse og vurdering af de opnåede resultater ved undersøgelsen findes i kapitel 6. Her indgår bl.a. opgørelse og beskrivelse af overskridelser af gældende kriterier for drikkevandskvalitet for udvalgte analyseparametre, som er jern, mangan, ammonium, nitrit og ilt.

3 Beskrivelse af vandværker

3.1 UNDERSØGELSENS GENNEMFØRELSE

3.1.1 De udvalgte anlæg

Undersøgelsen omfatter ca. 30 anlæg og enkeltindvindinger, som blev udvalgt som beskrevet i forrige hovedafsnit. Anlæggene er vist i nedenstående tabel.

TABEL 3.1 UNDERSØGELSENS UDVALGTE ANLÆG.

Anlæggets navn	Kommune navn og -nr.	Besøgt af
Pilegård Vandværk	Ballerup 151	Krüger
Brede Vandværk	Lyngby-Taarbæk 173	RAMBØLL
Græsted Vandværk	Græsted-Gilleje 213	Krüger
Alsønderup Vandværk	Hillerød 219	RAMBØLL
Nejede-Møllehøj Vandværk	Hillerød 219	RAMBØLL
Hundested Vandværk	Hundested 221	Krüger
Haraldsborg Vandværk	Roskilde 265	RAMBØLL
Stigs-Bjergby Vandværk	Tornved 341	RAMBØLL
Kr. Eskilstrup Vandværk	Tølløse 345	RAMBØLL
Nr. Eskilstrup Vandværk	Tølløse 345	RAMBØLL
Blangslev Vandværk	Fladså 353	Krüger
Petersgård Avlsgårds Vandværk	Langebæk 361	Krüger
Stensved Vandværk	Langebæk 361	Krüger
Gammelsø Vandværk I/S	Møn 365	Krüger
Udby Vandværk	Møn 365	Krüger
Udby-Rolund og Føns Vandværk	Nørre-Aaby 451	Krüger
Lejbølle Vandværk	Rudkøbing 475	RAMBØLL
Kværndrup Vandværk	Ryslinge 477	RAMBØLL
Lysabild Vandværk	Sydals 535	RAMBØLL
Oksbøl Vandværk Gl.	Blåvandshuk 555	Krüger
Endrup Vandværk	Bramming 557	Krüger
Strandhuse	Kolding 621	RAMBØLL
Ejstrupholm Vandværk	Nørre-Snede 625	Krüger
Aulum Vandværk, Gl. anlæg	Aulum-Haderup 651	RAMBØLL
Stadil Vandværk	Ringkøbing 667	RAMBØLL
Hårby Vandværk	Hørning 715	Krüger
Auning Vandværk I/S, Nordre	Sønderhald 747	RAMBØLL
Lyngby Vandværk	Århus 751	RAMBØLL

3.1.2 Acceptskrivelse og dens indhold

Efter udarbejdelse af en bruttoliste for vandværker der opfyldte de ønskede krav udsendtes via Miljøstyrelsen en orienteringsskrivelse til ca. 50 vandværker og enkeltindvindingsanlæg, som opfordrede til på frivilligt grundlag at deltage i undersøgelsen (se appendiks til nærværende rapport).

Ved besvarelsen returnerede de indbudte vandværker en acceptskrivelse, hvori der samtidig til brug for planlægningen af undersøgelsen skulle besvares en række enkle spørgsmål.

Det skal bemærkes, at skemaerne er blevet besvaret meget omhyggeligt og efter bedste evne; men der opstod alligevel betydelige afvigelser mellem den planlagte afvikling af undersøgelsesprogrammet og det faktiske forløb. Dette skyldes først og fremmest de overraskende lange filtergangtider på mange anlæg.

3.1.3 Beskrivelse af vandværkerne

Generelt var de undersøgte vandværker af meget varierende standard. Dette skyldes en række naturlige forhold såsom anlæggenes kapacitet, alder og ejerforhold.

Som nævnt under udvælgelseskriterierne er der lagt vægt på, at undersøgelsen enten omfatter anlæg, hvor vandtypen er vanskelig at behandle eller anlæg, som har vist overskridelser i indholdet af en eller flere af de omhandlede parametre.

Det er derfor ikke overraskende, at gruppen omfatter værker med denne variation i standarden. Der er med andre ord ikke tale om et repræsentativt udsnit af mindre danske vandværker. Undersøgelsens formål har fra starten af og i hele forløbet været et andet.

Vandværkerne er beskrevet ved hjælp af skemaer, som er vedlagt i appendiksdelen til nærværende rapport. Skemaerne er udfyldt i samarbejde mellem projektets vandværksingeniører, vandværkernes kontaktpersoner og i enkelte tilfælde leverandøren af anlægget.

Herudover er der ved besigtigelsen suppleret med egne enkle undersøgelser til verifikation af de angivne oplysninger, som for eksempel pumpekapaciteter, blæserkapaciteter, filterarealer og behandlet mængde vand. Nærmere undersøgelser af for eksempel filtermediets sammensætning, mængde og tilstand har ligget uden for opgavens omfang.

Særligt vanskeligt har det været at få oplysninger om boringernes tekniske indretning, filtersætning, alder og tilstand på de små anlæg. Disse oplysninger er derfor suppleret med data fra udtræk fra GEUS centrale database over boringer.

Ud over de ved besøget opklarende undersøgelser er det værkets oplysninger, der ligger til grund for beskrivelserne.

Hvert af skemaerne er opbygget således:

- Beskrivelse af indvindingen

En beskrivelse af indvindingen med angivelse af indvindingstilladelsens størrelse og dato, eventuelle vilkår og en fortegnelse af igangværende boringer betegnet ved DGU-nr, ydelse, mv. Råvandsanlæggets styring og automatik kan beskrives og der er plads til eventuelle bemærkninger.
- Beskrivelse af behandlingsanlægget

En beskrivelse af behandlingsanlægget evt. med angivelse af leverandør. I beskrivelsen indgår iltnings- og filtertyper, herunder specielt filtrenes opbygning, kapacitet og driftsforhold i form af gangtider og skyllefrekvens.

Der er mulighed for at angive styring og automatisering.

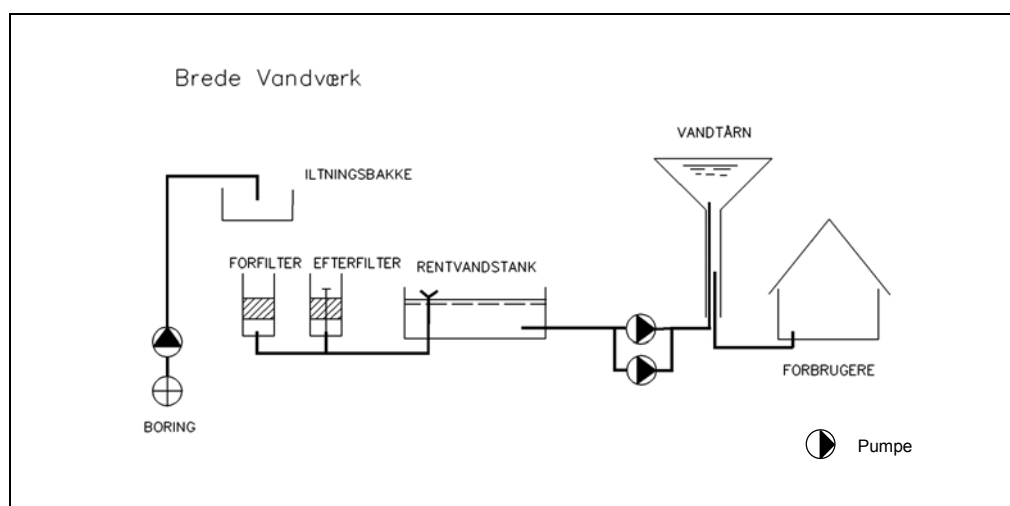
Anden (evt. supplerende) behandling angives og der er udført en skitse af anlægget til forståelse af processen.
- Uddrag af beskrivende vandanalyser

Et uddrag af beskrivende vandanalyser. Undersøgelsen omfatter kun de tidligere omtalte parametre (ilt, metan, svovlbrinte, jern, mangan, ammonium, nitrit, nitrat, aggressiv kulsyre, samt temperatur og kulsyre på stedet). Til forståelse og vurdering af vandværkets driftsforhold er det derfor relevant at angive de supplerende oplysninger, som i øvrigt forefindes om vandkvaliteten.

Det skal bemærkes, at der i forbindelse med de mindste vandværker ikke altid har været umiddelbar adgang til alle data. Ofte er der på værkerne skiftet arbejdskraft i forbindelse med bestyrelsernes valgperioder og arkiverne er ikke til stede.

Skemaerne fra de enkelte værker er renskrevet og samlet i appendiksdelen til nærværende rapport. Processkitset er standardiseret ved anvendelse af små CAD-elementer og må kun betragtes som orienterende for processen og ikke for anlæggets mekaniske og bygningsmæssige konstruktion. Et eksempel er vist i figur 3.1.

FIGUR 3.1 EKSEMPEL PÅ PROCESSKITSE AF ET VANDVÆRK.



3.2 DE ENKELTE VÆRKER

De nedenstående korte beskrivelser af de enkelte værker er udtræk fra de ovenfor omtalte skematiske beskrivelser. Dog er der suppleret med angivelse af de enkelte værkers problemstof i rent vand jf. materiale fra bl.a. GEUS samt med et ekstrakt af denne undersøgelses resultater af kemiske analyser fra værkernes råvand. Alle resultater bortset fra pH er anført i mg/l.

3.2.1 Pilegård Vandværk

Kommunalt vandværk med en kapacitet på 32 m³/t og årlig produktion på 250.000 m³.

Indvindingen foregår fra kalkreservoir. Der er let forhøjet permanganattal. Iltningen sker ved dobbelt fald fra iltningbakke på kontaktfiler og på forfilter. Filtreringen sker ved dobbeltfiltrering på to-mediefiler. Forfilter skylles efter 900 m³, mens efterfilterne skylles efter 5.000 m³.

Råvandskvalitet:

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,25 - 7,55	3,2 - 3,75	0,16 - 0,20	0,45 - 0,60	< 0,01	0,10 - 0,25	-

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.2 Brede Vandværk

Kommunalt værk med en kapacitet på 16 m³/t og årlig produktion på 21.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin.

Beluftningen sker ved iltningbakke. Filtreringen sker ved dobbeltfiltrering på sandfilter, som skylles en gang per uge.

Der er ingen bemærkninger til råvandskvaliteten på den anvendte boring.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,35 - 7,6	0,60 - 0,65	0,06	0,65 - 0,70	1,1 - 1,25	0,25 - 0,30	-

Problemstof i rent vand: Ammonium.

3.2.3 Græsted Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 50 m³/t og årlig produktion på 220.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin i et typisk metan-område.

Iltningen og metanafblæsningen sker ved bundbeluftning. Filtreringen sker ved enkeltfiltrering på et to medie-filter. Der skylles filter for hver 2.000 m³.

Der er om råvandskvaliteten den yderligere oplysning at jern og ammonium er let forhøjet.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,25 - 7,4	2,0 - 2,6	0,21 - 0,25	1,1 - 1,2	2,7 - 4,4	0,05 - 0,25	-

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.4 Alsønderup Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på ca. 30 m³/t og årlig produktion på 125.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin i et typisk metan-område. Iltningen og metanafblæsningen sker ved INKA-blæsning. Filtreringen sker ved enkeltfiltrering på sandfilter.

Der er om råvandskvaliteten den yderligere oplysning, at indvindingen foretages fra boringer med markant varierende råvandskvalitet for så vidt angår jern og metan. Værket har således en boring med højt metanindhold og relativt lavt jernindhold hhv. to boringer med lavt eller intet metanindhold og højt jernindhold.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,4 - 7,7	1,0 - 3,8	0,07 - 0,35	0,50 - 1,2	< 0,01 - 9,2	0,30 - 1,0	-

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.5 Nejede-Møllehøj Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 52 m³/t, men en ydelse på ca. 20 m³/t og årlig produktion på 25.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin. Iltningen og metanafblæsningen sker ved rislebakker og henstand. Filtreringen sker ved enkeltfiltrering på sandfilter, som skylles 1 gang per uge om sommeren og hver anden uge om vinteren.

Der er ikke andre bemærkninger til råvandskvaliteten end et usædvanligt højt permanganattal.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,2 - 7,6	2,5 - 8,9	0,12 - 0,32	1,2 - 1,9	0,55 - 2,3	0,05 - 0,15	-

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.6 Hundested Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 42 m³/t og årlig produktion på 260.000 m³.

Indvindingen foregår fra hævet stenalderhåvbund i et typisk metanområde. Iltningen og metanafblæsningen sker ved INKA-blæsning. Filtreringen sker ved enkeltfiltrering på sandfilter, som skylles 1 gang per uge.

Vandet indeholder meget svovlbrinte og ammonium samt klorid over grænseværdien.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,15 - 7,35	0,50 - 0,90	0,03 - 0,06	3,1 - 3,6	11,8 - 18,2	3,0 - 4,7	-

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.7 Haraldsborg Vandværk

Kommunalt vandværk med en kapacitet på 110 m³/t og årlig produktion på 217.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin.

Beluftningen sker ved trappeiltning. Filtreringen sker ved enkeltfiltrering på sandfilter, som skylles efter 4.500 m³, svarende til ca. hver 14. dag.

Der er ingen bemærkninger til råvandskvaliteten.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,25 - 7,45	0,30 - 0,34	0,015 - 0,020	1,1	< 0,01	< 0,05	-

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.8 Stigs-Bjergby Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på ca. 20 m³/t og årlig produktion på 50.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin.

Iltning sker ved rislebakker og henstand. Filtreringen sker ved dobbeltfiltrering, som består af to spor: Et med dobbelt åben filtrering og et med dobbelt trykfiltrering. For trykfilter sporet foretages yderligere en kompressoriltning i tilgangen til trykfilterne. Undersøgelserne er foretaget på trykfilter sporet.

Der skylles filtre ca. hver 4. dag.

Der er ikke yderligere oplysninger om råvandskvaliteten.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,25 - 7,45	2,9 - 3,2	0,10 - 0,15	1,0 - 1,1	< 0,01	0,05 - 0,15	-

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.9 Kr. Eskilstrup Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på ca. 30 m³/t og årlig produktion på 100.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin.

Iltningen sker ved iltningstårn og pisker i henstandstank. Filtreringen sker ved enkeltfiltrering på åbne sandfiltre, som skylles hver anden uge.

Der er ikke andre oplysninger om råvandskvaliteten.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,2 - 7,5	1,6 - 2,7	0,03 - 0,15	0,25 - 0,65	< 0,01	0,10 - 0,20	-

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.10 Nr. Eskilstrup Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 5 m³/t og årlig produktion på 13.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin. Iltningen sker ved kompressoriltning i tilgangen til trykfilteret, som skylles hver 7. dag.

Der er ikke andre oplysninger om råvandskvaliteten.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,2 - 7,3	2,4 - 3,3	0,08 - 0,10	0,40 - 0,50	< 0,01	< 0,05 - 0,10	-

Problemstoffer i rent vand: Jern og mangan.

3.2.11 Blangslev Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på ca. 7 m³/t og årlig produktion på 16.000 m³.

Indvindingen foregår fra et kvartært magasin.

Iltningen sker ved kompressoriltning før dobbelt filtrering. Filterskylning foretages hver uge på forfilter og hver anden uge på efterfilter.

Der er ikke andre oplysninger om råvandets kvalitet.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,10 - 7,15	0,36 - 0,63	0,01 - 0,02	1,3 - 2,6	1,9 - 2,8	0,50 - 1,7	-

Problemstof i rent vand: Ammonium.

3.2.12 Petersgård Avlsgårds Vandværk

Mindre enkeltindvinding med en kapacitet på 6 m³/t og produktion på 2.400 m³/år.

Iltningen sker ved kompressor før trykfiltrering i enkeltfilter med sand.

Der returskylles ca. hver anden uge.

Der er ingen yderligere oplysninger om råvandets sammensætning.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,15 - 7,85	0,45 - 0,75	0,03	1,9	2,1 - 2,4	0,60 - 1,4	-

Problemstoffer i rent vand: Jern, mangan og ammonium.

3.2.13 Stensved Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 36 m³/t og årlig produktion på 92.000 m³.

Indvindingen foregår fra skrivekridt i et typisk metanområde. Iltningen og metanafblæsningen sker ved bundbeluftning i flere trin efterfulgt af filtreringen uden henstand. Filtreringen sker på sandfiltre, som skylles hver 7. dag.

Vandet indeholder metan, svovlbrinte og ammonium, men kun meget lidt jern og mangan.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,05 - 7,3	0,12 - 0,23	< 0,005	1,6	1,5 - 2,1	1,5 - 2,5	-

Problemstof i rent vand: Ammonium.

3.2.14 Gammelsø Vandværk I/S

Privat vandværk med en kapacitet på 19 m³/t og årlig produktion på 33.000 m³.

Indvindingen foregår fra velbeskyttet skrivekridt i et typisk metanområde.

Iltningen og metanafblæsningen sker ved bundbeluftning i flere trin efterfulgt af henstand før forfiltreringen. Der er mellembeluftning før efterfiltreringen. Filtreringen sker på sandfiltre.

Vandet indeholder meget metan, svovlbrinte og ammonium samt har høj koncentration af klorid, magnesium og fluorid.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,05	0,28 - 0,65	0,01	2,4 - 2,5	13,5 - 14,0	1,5 - 1,7	-

Problemstof i rent vand: Ammonium.

3.2.15 Udby Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 18 m³/t og årlig produktion på 17.000 m³.

Indvindingen foregår fra skrivekridt i et typisk metanområde.

Iltningen og metanafblæsningen sker ved bundbeluftning i to trin før forfiltreringen. Der er mellembeluftning før efterfiltreringen. Filtreringen sker på sandfiltre. Der recirkuleres fra rentvandstanken over efterfiltrene.

Filterskylning foretages ca. hver 10. dag.

Vandet indeholder meget metan, svovlbrinte og ammonium, samt har højt permanganattal og høj koncentration af klorid, magnesium og fluorid.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,0 - 7,05	0,56 - 2,2	< 0,005	6,3 - 7,0	11,5	1,4 - 2,0	-

Problemstof i rent vand: Ammonium.

3.2.16 Udby-Rolund og Føns Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 46 m³/t og årlig produktion på 90.000 m³.

Indvindingen foregår fra kvartært grusmagasin.

Iltningen sker ved bundbeluftning efterfulgt af henstand før forfiltreringen.

Der er mellemfiltrering på koksiltre før efterfiltreringen. For- og efterfiltreringen sker på meget grove sandfiltre.

Forfiltrene skylles 3 gange per uge; efterfiltrene skylles 2 gange per uge.

Råvandskvalitet:

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,5 - 7,6	4,0 - 4,3	0,18 - 0,20	4,0 - 4,5	-	-	-

Problemstoffer i rent vand: Ammonium og jern.

3.2.17 Lejbølle Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 116 m³/t og årlig produktion på 600.000 m³. Anlægget er forsynet med trapeiltning og åbne filtre (dobbeltrifiltrering).

Indvindingen foregår fra velbeskyttet sand- og grusreservoir.

Forfilterskylning sker ca. hver tredje dag, efterfiltre med den halve frekvens.

Der er ikke oplyst om problemer med råvandet.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,05 - 7,15	1,7 - 3,55	0,04	1,0 - 1,1	-	-	< 2

Problemstoffer i rent vand: Jern og mangan.

3.2.18 Kværndrup Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på ca. 100 m³/t og en indvinding på 75 m³/t. Den årlige produktion er på ca. 200.000 m³.

Indvindingen foregår fra sandreservoir.

Anlægget er forsynet med iltning ved bundbeluftning efterfulgt af åbne filtre. Forfilterskylning sker hver 4. dag, efterfilterskylning sker hver uge.

Der er ingen væsentlige problemer med råvandet.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,2 - 7,3	1,2 - 2,6	0,18 - 0,33	0,55 - 0,70	-	-	< 2

Problemstoffer i rent vand: Ammonium og mangan.

3.2.19 Lysabild Vandværk

Privat værk med en kapacitet på ca. 70 m³/t og årlig produktion på 175.000 m³.

Indvindingen foregår fra sandreservoir.

Anlægget er forsynet med INKA-iltning og bundbeluftning mellem for- og efterfiltre. Filtringen sker ved dobbeltfiltrering på åbne sandfiltre.

Filterskylning sker efter hver 1.500 m³ behandlet vand.

Der er oplyst om følgende problemer med råvandet: Metanholdigt, højt jern- og meget højt ammoniumindhold.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,0 - 7,2	2,0 - 3,8	0,12 - 0,13	3,2 - 3,6	4,5	0,05	-

Problemstof i rent vand: Ammonium (og svovlbrinte i råvand).

3.2.20 Oksbøl Gl. Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 56 m³/t og årlig produktion på 250.000 m³.

Iltningen sker ved kompressorbeluftning. Filtringen sker ved dobbeltfiltrering på lukkede filtre (alkalisk filtermateriale).

Filterskylning: Forfiltrene skylles efter 48 timer, efterfiltrene efter 96 timer.

Indvindingen foregår fra et sandmagasin med meget blødt, surt og saltfattigt vand.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
5,9 - 6,0	4,7 - 5,5	0,16 - 0,21	0,30 - 0,35	-	-	30 - 39

Problemstof i rent vand: Jern (og surt råvand).

3.2.21 Endrup Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på ca. 20 m³/t og årlig produktion på ca. 60.000 m³.

Indvindingen foregår fra sand og grusreservoir.

Anlægget er forsynet med iltning ved fald og bundbeluftning efterfulgt af åbne filtre med alkalisk filtermateriale.

Filterskylning sker hver dag.

Der er oplyst om følgende problemer med råvandet: Surt og aggressivt vand, lav hårdhed og meget højt manganindhold.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,85 - 4,95	0,34 - 1,3	0,30 - 0,32	< 0,05 - 0,60	-	-	53 - 56

Problemstof i rent vand: Mangan (og surt råvand).

3.2.22 Strandhuse - Nr. Bjert Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på ca. 55 m³/t og årlig produktion på ca. 200.000 m³.

Indvindingen foregår fra velbeskyttet sand- og grusreservoir.

Anlægget er forsynet med trappeiltning og åbne filtre.

Filterskylning sker ca. hver anden dag.

Der er ikke oplyst om problemer med råvandet.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,35 - 7,65	1,2 - 1,4	0,13 - 0,16	0,25 - 0,40	-	-	< 2

Problemstof i rent vand: Mangan.

3.2.23 Ejstrupholm Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 3 - 400 m³/t men en ydelse på 72m³/t. Den årlig produktion er på ca. 100.000 m³.

Indvindingen foregår fra et sandmagasin med blødt, lidt aggressivt vand.

Iltningen sker ved kompressorbeluftning før henstandstank. Filtreringen sker

ved enkeltfiltrering på sandfilter. Der anvendes flokningsmiddel på filteret.

Filterskylning sker per 5 - 600 m³, dvs. ca. hver anden dag.

Der er ikke andre bemærkninger til råvandskvaliteten.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,4 - 7,65	1,0 - 1,1	0,13 - 0,15	0,10 - 0,12	-	-	< 2 - 4

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.24 Aulum Vandværk, Gl. anlæg

Privat vandværk med en kapacitet på ca. 100 m³/t og årlig produktion på ca. 300.000 m³.

Indvindingen foregår fra et sand og grusreservoir.

Anlægget er opdelt i to linier: En med åbne filtre og en med trykfiltere.

Sidstnævnte antages at behandle ca. 35% af den indvundne mængde. Kun trykfilteranlægget er undersøgt i dette projekt.

Iltningen sker ved kompressorbeluftning. Filtreringen for den undersøgte linie sker ved dobbeltfiltrering i lukkede sandfiltere (trykfiltere). Forfiltrerne skylles efter 65 timer, efterfiltrerne efter 320 timer.

Der er ikke oplyst om problemer med råvandet.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,25 - 7,55	2,4 - 2,6	0,20 - 0,22	0,15	-	-	< 2

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.25 Stadil Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 75 m³/t og årlig produktion på 140.000 m³.

Indvindingen foregår fra sandreservoir.

Iltningen sker ved kompressorbeluftning. Filtreringen sker ved dobbeltfiltrering i åbne filtre med neutraliserende (kalkholdigt) filtermateriale over sand. Forfiltrene skylles hver anden dag, efterfiltrene to gange per uge.

Der er følgende oplysninger om råvandet: Surt og aggressivt vand, lav hårdhed og meget højt jernindhold.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
5,0 - 5,6	8,7 - 8,9	0,22 - 0,27	0,50 - 0,60	-	-	54 - 59

Problemstoffer i rent vand: Jern og mangan (og surt råvand).

3.2.26 Hårby Vandværk

Privat vandværk med en kapacitet på 20 m³/t og årlig produktion på 60.000 m³.

Indvindingen foregår fra et magasin med blødt, saltfattigt vand.

Iltningen sker ved kompressorbeluftning. Filtreringen sker ved dobbeltfiltrering på Magno-dol filter. Filtrene skylles dagligt.

Der er ikke andre bemærkninger til råvandskvaliteten.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,35 - 7,5	0,06 - 0,90	0,12 - 0,30	< 0,05	-	-	< 2

Problemstoffer i rent vand: Ammonium og mangan.

3.2.27 Auning Vandværk I/S, Nordre

Privat vandværk med en kapacitet på 50 m³/t og årlig produktion på 350.000 m³.

Indvindingen foregår fra velbeskyttet kalkreservoir.

Iltningen sker ved kompressorbeluftning. Filtreringen sker ved enkeltfiltrering i lukkede sandfiltre (trykfiltre). Filtrene skylles skiftevis efter 600 m³.

Råvandskvalitet:

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,4 - 7,45	0,51 - 0,58	0,04 - 0,05	0,05 - 0,08	-	-	< 2

Problemstoffer i rent vand: Jern og mangan.

3.2.28 Lyngby Vandværk, Århus

Lille privat vandværk med en kapacitet på 7 m³/t og årlig produktion på ca. 8.000 m³.

Indvindingen foregår fra sand- og grusreservoir.

Iltningen sker ved kompressorbeluftning. Filtreringen sker ved enkeltfiltrering i lukkede sandfiltre (trykfiltre). Filtrene skylles tre gange per uge.

Filterskylning foretages med råvand.

Der er ingen oplysninger om problemer med råvandet.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,35 - 7,4	1,4 - 1,6	0,24 - 0,26	0,20 - 0,22	-	-	< 2

Problemstof i rent vand: Jern.

3.2.29 Ørslevkloster Vandværk

Velfungerende kommunalt vandværk med en kapacitet på 35 m³/t og årlig produktion på 155.000 m³.

Indvindingen foregår fra velbeskyttet sand- og grusreservoir.

Iltningen sker ved bundbeluftning. Filtreringen sker ved dobbeltfiltrering på sandfilter efterfulgt af to-mediefilter. Filtrene skylles per 7.000 m³ eller mindst hver 14. dag.

Der er ingen problemer i råvandet.

pH	Jern	Mangan	Ammonium	Metan	Svovlbrinte	Aggr. CO ₂
7,5 - 7,7	0,85 - 1,1	0,14 - 0,17	0,20 - 0,30	-	-	< 2

4 Beskrivelse af råvand

De udvalgte vandværker har næsten alle haft kvalitetsproblemer. I en række af tilfælde er dette forventeligt på grund af vanskeligt behandleligt grundvand.

Den traditionelle vandbehandling omfatter *Normalbehandling* dvs. luftning samt enkelt eller dobbeltfiltrering i åbne eller lukkede anlæg, mens *Særlig behandling* foruden et eller flere af de elementer, der indgår i normalbehandlingen, kan omfatte intensiv luftning, kemisk eller biologisk behandling.

Råvandets karakter afgør, om der skal anvendes *normalbehandling* eller *særlig behandling* jf. norm for almene vandforsyningsanlæg DS 442, 2. udg. Heraf fremgår, at normalbehandling anvendes op til følgende værdier (i uddrag):

- Ammonium 1,5 mg/l
- Jern 3,0 mg/l
- Mangan 0,6 mg/l
- Aggressiv kulsyre 5 mg/l
- Svovlbrinte 0,2 mg/l
- Metan 0,4 mg/l

4.1 PROBLEMSTOFFER

4.1.1 Metan

Metan findes opløst i vand i visse områder i Danmark. Metan dannes ved anaerob nedbrydning af organisk stof og findes derfor kun, hvor der er aflejret betydelige mængder organisk stof i sedimenterne, som danner grundvandsmagasinet. Opløseligheden af metan i vand er lav. Metan fjernes ved intensiv beluftning.

4.1.2 Svovlbrinte

Svovlbrinte er en opløst gasart, som dannes ved anaerob omsætning af organisk stof og sulfat. Svovlbrinte lugter fælt og bemærkes derfor i selv meget lave koncentrationer i vandværket. Svovlbrinte har betydeligt højere opløselighed end metan især ved høj pH-værdi, hvor stoffet er dissociert. I små koncentrationer er svovlbrinte vidt udbredt. I høje koncentrationer findes det ofte sammen med metan. Svovlbrinte fjernes typisk ved intensiv beluftning ligesom metan. Små mængder svovlbrinte kan omsættes på filtrene ved aerobe processer.

4.1.3 Ammonium

Ammonium er den stabile form af kvælstof ved anaerobe forhold. I reduceret grundvand findes derfor ikke nitrit og nitrat men udelukkende ammonium. Ved vandbehandlingsprocesser, hvor luftning indgår, ændres den stabile tilstand til nitrat. Dette bevirker et iltforbrug. Et mellemprodukt er det

sundhedsskadelige nitrit. Små mængder ammonium og nitrit kan omsættes på filtrene ved aerobe processer. Store mængder fjernes på biologiske filtre.

4.1.4 Aggressiv kulsyre

Omsætning af organisk stof i jorden bevirker en forøgelse af kulsyreindholdet i det nedsivende regnvand. Hvor der ikke er kalk nok til stede i undergrunden, vil kun en del af denne kulsyre opløse kalken og derved omdannes til bicarbonat mens resten vil være til stede i sin oprindelige form. Kulsyre vil kunne opløse kalkholdige produkter og kaldes derfor aggressiv over for cementprodukter og beton. Kulsyre er let opløselig i vand og fjernes ved luftning, når mængderne er mindre og når vandet hårdt. Hvis grundvandet er blødt vil større mængder aggressiv kulsyre kun kunne fjernes ved neutralisering med basiske filtermaterialer eller ved tilsætning af læsket kalk (kalciumhydroxyd).

4.1.5 Andre stoffer

En række andre stoffer kan give anledning til behandlingsproblemer og overskridelse af kvalitetskravene. Det gælder f.eks. naturligt organisk stof (kaliumpermanganattallet) og farve, nikkell, fluorid, salt og sulfat. Her ud over kan grundvandet være forurennet med nitrat, pesticider og andre organiske stoffer samt bakterier p.gr.a. menneskelig aktivitet. Problemer med disse stoffer behandles ikke i denne undersøgelse.

4.2 PROBLEMOMRÅDER

4.2.1 Metanområder

Metanområder i Danmark omfatter først og fremmest følgende lokaliteter:

- Nordøstsjælland fra Rørvig til Nivå.
- Møn og Sydøstsjælland.
- Vendsyssel.
- Norddjursland.
- Sydals.

4.2.2 Svovlbrinte

Svovlbrinte er meget udbredt i alle anaerobe grundvandsmagasiner, men findes ofte i høj koncentration sammen med metan. Der findes ikke herudover typiske svovlbrinteområder.

4.2.3 Ammonium

Ammonium er meget udbredt i alle anaerobe grundvandsmagasiner, men findes ofte i høj koncentration sammen med metan. Der findes ikke herudover typiske ammoniumområder.

4.2.4 Aggressiv kulsyre

De kalkfattige områder vest for isens stilstandsline langs den jyske højderyg er typiske områder med aggressivt grundvand. Herudover skal Bornholm nævnes. Aggressivt vand kan også forekomme ved naturligt ionbyttet vand, som forefindes i et bælte fra Øresundskysten til Østfyn.

Endelig vil blandet grundvand ofte udvise aggressivitet, da der er en ulineær sammenhæng mellem vandets hårdhed og den tilhørende kulsyre.

5 Prøvetagning og analyse af vandprøver

5.1 PRØVETAGNING

Prøvetagning blev udført af teknikere fra henholdsvis Krüger og RAMBØLL ved besøg på vandværkerne. Prøvetagningen blev udført efter aftale med analyselaboratoriet R. Dons' Vandanalytisk Laboratorium med mundtlig instruks herfra. Proceduren var lidt forskellig, afhængig af afstanden mellem vandværk og laboratorium:

- a. For vandværker øst for Storebælt blev flaskerne udleveret til prøvetager umiddelbart før prøvetagning, og prøver blev afleveret samme dag på laboratoriet, som straks analyserede for ammonium, nitrit, nitrat, pH og svovlbriente samt konserverede de øvrige parametre.
- b. For vandværker vest for Storebælt blev der i god tid før prøvetagning bestilt det fornødne antal flasker, som blev pakket i termoemballage med køleelementer og fremsendt med post. Efter prøvetagning blev de nedkølede prøver af prøvetager afleveret til kurerfirma, som leverede prøverne på laboratoriet senest næste dag kl. 12.00, men i mange tilfælde samme dag. Laboratoriet har internt noteret modtagetidspunkter for samtlige prøver. Også disse prøver blev straks analyseret for ammonium, nitrit, nitrat og pH.

Da kravet til analysetidspunkt for nitrit i henhold til den anvendte metode DS 222 er max. 5 timer efter prøvetagning, blev der indledningsvis foretaget en undersøgelse for indhold af nitrit i prøver, der var mere end 5 timer gamle, men opbevaret i køleskab i op til 24 timer. Der konstateredes stabilitet, således at en evt. påbegyndt nitrificeringsproces kunne stoppes ved nedkøling, hvorfor en lidt længere transporttid ikke ansås for noget problem.

Til dokumentation af ovennævnte for nitrit anfører laboratoriet analyseværdierne efter henstand i 5 henholdsvis 24 timer angivet i tabel 5.1.

TABEL 5.1 DOKUMENTATION FOR NITRIT ANALYSER EFTER HENSTAND I 5 HHV. 24 TIMER.

Efter henstand ved 5,0°C i 24 timer bestemtes følgende indhold af nitrit, idet tal i parentes angiver det fundne indhold inden for 5 timer. Det bemærkes, at resultaterne er opgivet med et ciffer mere end metoden berettiger til.

08.06.1999	0,072 mgNO ₂ ⁻ /l	(0,070 mgNO ₂ ⁻ /l)
08.06.1999	0,043 –	(0,041 –)
09.06.1999	0,259 –	(0,256 –)
29.06.1999	0,254 –	(0,278 –)
20.08.1999	0,748 –	(0,724 –)
20.08.1999	0,154 –	(0,152 –)

5.2 METODER

Alle analyser er udført akkrediteret af R. Dons' Vandanalytisk Laboratorium og i øvrigt forskriftsmæssigt i henhold til analysemetoder med tilhørende detektionsgrænser som angivet i tabel 5.2.

TABEL 5.2 ANALYSEMETODER MED TILHØRENDE DETEKTIONSGRÆNSER.

Analyseparameter	Analysemetode	Detektionsgrænse
Ilt	DS 2205	0,1 mg/l
Metan	SM 6211C	0,01 -
Svovlbrinte	DE D 7	0,05 -
Jern	DS 225	0,02 -
Mangan	DS 227	0,005 -
Ammonium	DS 224	0,01 -
Nitrit	DS 222	0,01 -
Nitrat	DE D 9	1 -
pH	DS 287	
Aggr. kuldioxid	DS 236	2 -

Note:

DS: Dansk Standard.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17. ed.

DE: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung.

Fra laboratoriets interne kvalitetskontrol kan oplyses følgende måleusikkerheder for perioden fra 17. december 1998 (første prøve fra Hundested Vandværk) til 24. november 2000 (sidste prøve fra Udby Vandværk), idet der i øvrigt kan henvises til Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 637 af 30. juni 1997 om kvalitetskrav m.v.:

- Jern $s_T = 5,0 \%$ (krav 7 %)
Genfinding: 97,5 % (krav 95 - 105 %)
- Mangan $s_T = 6,2 \%$ (krav 7 %)
Genfinding: 97,2 % (krav 95 - 105 %)
- Ammonium $s_T = 3,2 \%$ (krav 7 %)
Genfinding: 98,2 % (krav 95 - 105 %)
- Nitrit $s_T = 4,7 \%$ (krav 7 %)
Genfinding: 98,2 % (krav 95 - 105 %)
- Nitrat $s_T = 1,2 \%$ (krav 5 %)
Genfinding: 100,6 % (krav 98 - 102 %)

5.3 RAPPORTERING AF ANALYSERESULTATER

Efter at alle analyser for det enkelte vandværk var udført, blev der rapporteret således, at Krüger og RAMBØLL hver modtog en genpart, mens den originale akkrediterede analyseattest blev arkiveret på laboratoriet i en speciel sagsmappe under Krügers ISO 9001-kvalitetsstyringssystem.

6 Vurdering af opnåede resultater

6.1 GENERELT OM UNDERSØGELSEN

Vandforsyningen i Danmark er i overvejende grad baseret på indvinding af grundvand, som kan anvendes efter en iltningproces efterfulgt af filtrering gennem et eller to filtre. Denne enkle vandbehandling er baggrunden for den udprægede decentrale vandforsyningsstruktur, som dog til stadighed er under ændring. Langt den største del af ledningsført vand stammer fra større, almene anlæg, men de mindre almene anlæg samt de ikke almene anlæg tegner sig for det største antal vandforsyningsanlæg.

Uanset den enkle behandlingsform og den lange tradition for behandling af grundvand i Danmark, viser en stor del af de mindre vandforsyningsanlæg mangler i overholdelsen af Tilsynsbekendtgørelsens kvalitetskrav til drikkevand. Det er ikke ganske klart, hvorvidt gentagne overskridelser skyldes mangler i dimensionering af behandlingsanlæg, i anlæggenes udførelse eller i driften, herunder vedligeholdelsen af anlæggene. Her ud over har der i mange år eksisteret den opfattelse blandt nogle ejere af mindre anlæg, at udgifter til analyser og rådgivning skal holdes på et lavt niveau med det formål at kunne levere vand billigst muligt. De ændrede forhold i det moderne samfund har i høj grad gjort disse holdninger utidssvarende.

Ved projektet er udført undersøgelse af vandbehandlingsmetoderne på en række danske vandværker. Undersøgelsen vedrører den traditionelle vandbehandling og omfatter parametrene: Ilt, metan, svovlbrinte, jern, mangan, ammonium, nitrit, nitrat, pH og aggressiv kuldioxid samt turbiditet ved kontinuert måling.

Undersøgelsen er i henhold til problemstillingen rettet mod relativt små vandværker, og målet har været at belyse årsager til de overskridelser af kvalitetskravene i Tilsynsbekendtgørelsen, som er observeret for en stor del af disse vandværker.

Grundlaget for dimensionering af vandbehandlingsanlæg er råvandets indhold af de stoffer, som skal ændres ved vandbehandlingen, hvorfor kendskabet til værkernes råvandskvaliteter er væsentligt for at kunne vurdere effektiviteten af forskellige behandlingsmetoder.

I det efterfølgende omtales først kvalitetskrav og observerede overskridelser heraf for de undersøgte vandværker. Herefter beskrives værkernes råvandskvalitet og nogle af de problemer, som relaterer sig direkte hertil. Efter dette følger beskrivelse af forhold vedrørende værkernes forbehandling af råvand. Effektiviteten af råvandets forbehandling har oftest meget stor betydning for filtreringen. Forbehandlingen omhandler generelt, og som det væsentligste element, iltning af råvandet ved forskellige former for beluftning, men for værker med metan og eventuelt svovlbrinte handler det desuden om, om beluftningen er tilstrækkelig kraftig til også at udlufte disse opløste gasser fra råvandet. Endelig følger beskrivelser af forhold vedrørende filtreringen, som ved vurdering af vandbehandling generelt fremtræder med stor vigtighed

og herunder indgår nogle væsentlige problemstillinger for vandbehandlings generelle funktion. For de værker, der har råvand af den kalkaggressive type, indgår yderligere forhold omkring fjernelse af aggressiv kuldioxid ved hævnning af pH.

Endelig vurderes på grundlag af undersøgelsens materiale nogle sammenhørende problemer mellem råvand, forbehandling og filtrering for derved at kunne trække væsentlige og typiske problemstillinger frem for diskussion og løsning.

6.2 KVALITETSKRAV

I tabel 6.1 er givet en oversigt over kravene fra såvel Tilsynsbekendtgørelsen fra 1988 som kravene jf. den nye bekendtgørelse fra 2001.

TABEL 6.1 KVALITETSKRAV TIL DRILLEKVVAND.

	Jern mgFe/l	Mangan mgMn/ l	Ammonium mgNH ₄ ⁺ /l	Nitrit mgNO ₂ ⁻ /l	Ilt mgO ₂ /l
Drikkevandskvalitetskrav jf. Tilsynsbekendtgørelsen fra 1988					
Vejledende værdier	0,05	0,02	0,05	u.d.	> 5
Højest tilladelige værdier ved indgang til forbrugerens ejendom	0,2	0,05	0,5	0,1	
Drikkevandskvalitetskrav jf. ny bekendtgørelse fra 2001					
Højest tilladelige værdier ved afgang fra vandværk	0,1	0,02	0,05 ¹	0,01	> 5
Højest tilladelige værdier ved indgang til forbrugernes ejendom	0,2	0,05	0,05 ¹	0,1	5

¹ For at undgå overskridelse af nitritgrænseværdien i ledningsnet, skal indholdet i iltet og filtreret vand være mindre end 0,05 mg/l dog kan ammoniumindhold op til 0,5 mg/l accepteres når drikkevandet ikke filtreres på vandværket, og ammoniumindholdet i øvrigt ikke omdannes til nitrit i ledningsnettet.

Generelt set må kvalitetskravene i den nye bekendtgørelse anses for en præcisering af kravene i den tidligere Tilsynsbekendtgørelse, idet de nye højest tilladelige værdier ved afgang fra vandværk ligger på niveau med de tidligere gældende vejledende værdier.

Vurderingen af kvaliteten af det behandlede vand er for nærværende projekt foretaget i henhold til de på undersøgelsestidspunktet gældende krav i Miljøministeriets Tilsynsbekendtgørelse fra 1988, der omfattede vejledende og højest tilladelige værdier for de analyseparametre, som er medtaget i undersøgelsen. Vurderingerne er generelt foretaget i forhold til de dagældende vejledende værdier og vil dermed for de pågældende parametre generelt set ligge på linje med tilsvarende vurderinger foretaget i forhold til kravene i den nye bekendtgørelse.

6.2.1 Overskridelser af kvalitetskrav til behandlet vand

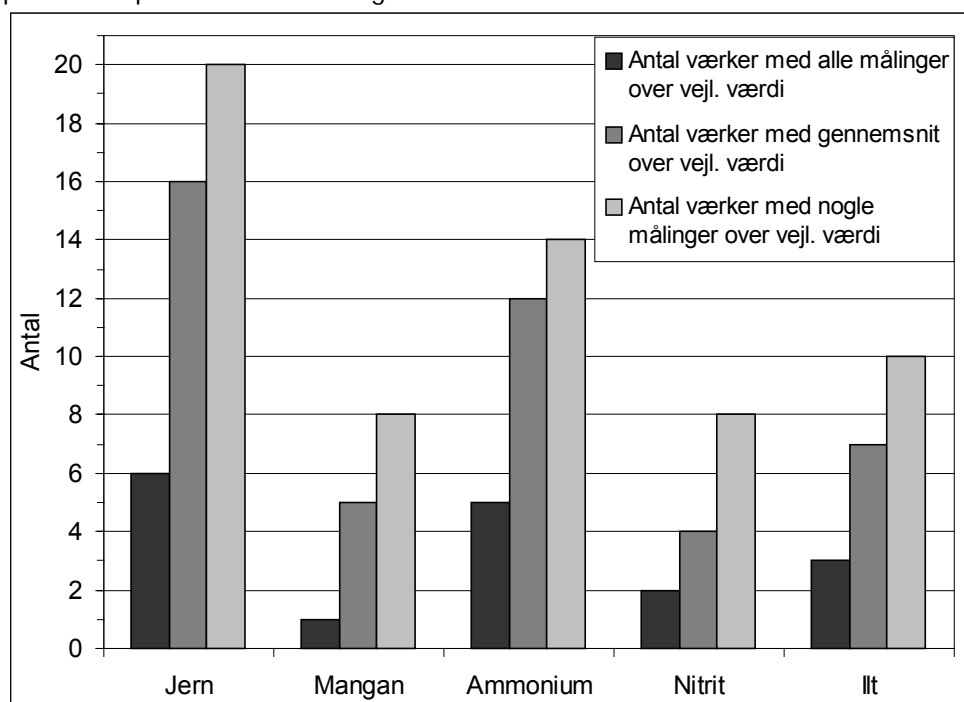
Ud fra resultaterne af de kemiske analyser af vandprøver fra de 6 prøvetagninger på hver af værkerne, er antal værker med overskridelser af kvalitetskravene opgjort. I figur 6.1 er på den baggrund vist antallet af værker

med overskridelser af vejledende værdier for jern, mangan, ammonium og nitrit og kvalitetskravet for ilt.

Det ses af figur 6.1, at der er konstateret flest overskridelser for jern og for ammonium. Efterfølgende kommer ilt, nitrit og mangan. For ilt bemærkes, at vandprøverne er udtaget umiddelbart efter filtrene, hvorfor kvalitetskravet, på minimum 5 mg O₂/l, reelt kan være overholdt for det afledte vand fra nogle af værkerne.

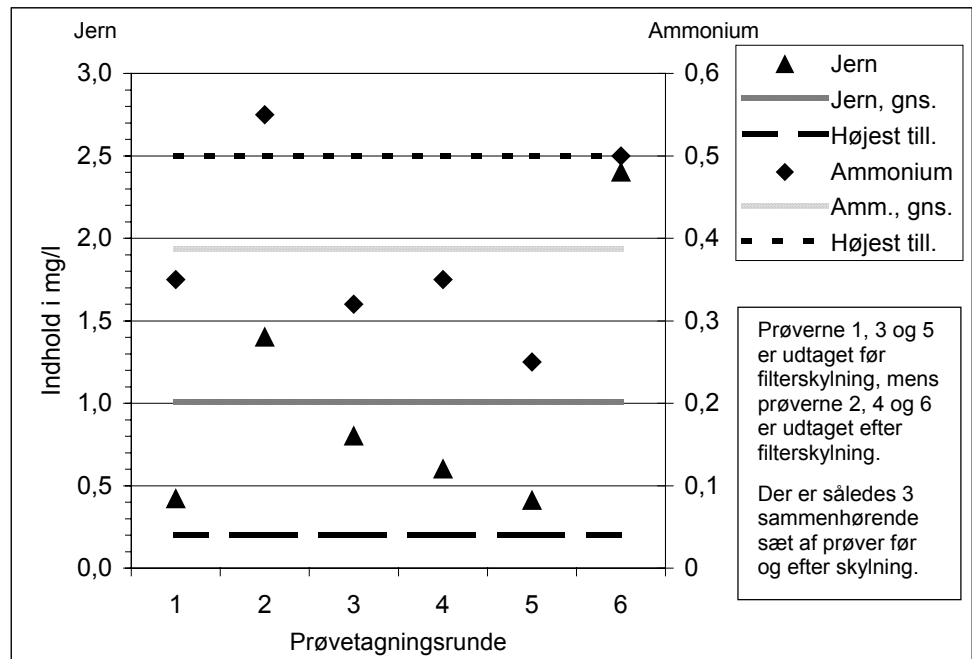
FIGUR 6.1 OVERSKRIDELSER AF KVALITETSKRAV FOR JERN, MANGAN, AMMONIUM, NITRIT OG ILT.

Vandret akse angiver de enkelte parametre. Lodret akse er antal værker med overskridelser for de pågældende parametre. I alt er der konstateret overskridelser af de vejledende værdier for en eller flere af de analyserede parametre på 28 af de 29 besøgte værker.



FIGUR 6.2 INDHOLD AF JERN OG AMMONIUM I BEHANDLET VAND VED 6 PRØVETAGNINGER FRA UDBY-ROLUND OG FØNS VANDVÆRK MED OVERSKRIDELSER AF KVALITETSKRAVENE.

Vandret akse angiver de 6 prøvetagninger. Lodret akse angiver jernindhold henholdsvis ammoniumindhold i behandlet vand i mg/l.



Af det samlede analysemateriale fremgår, at der er fundet mest markante overskridelser af kvalitetskravene for jern, hvilket i nogen grad hænger sammen med den kvalitetsforringelse af det behandlede vand, der for mange værker finder sted i forbindelse med filterskylning, se det følgende afsnit 6.5.5.

I figur 6.2 er vist resultaterne af de kemiske analyser for indhold af jern og ammonium i vandprøver fra de 6 prøvetagninger for Udby-Rolund og Føns Vandværk. De afbillede resultater er fra prøver af behandlet vand, og da disse ligger temmeligt højt er de - ulig de øvrige vurderinger i projektet - sammenstillet med de højest tilladelige værdier af kvalitetskravene for disse parametre.

For dette værk ses, at samtlige analyser for jern overskrider den højest tilladelige værdi på 0,2 mg Fe/l, og det kan tilføjes, at de meget høje værdier (den højest målte på 2,4 mg Fe/l) er udtaget 1 - 2 timer efter, der er foretaget filterskyllning på værket. Det skal også bemærkes, at de højeste værdier for ammonium måles i de samme vandprøver, udtaget kort tid efter filterskyllningen. For ammonium er højest tilladelige værdi for kvalitetskravet på 0,5 mg NH_4^+ /l, ikke generelt overskredet. Overskridelse af højest tilladelige værdi for ammonium ses kun for en prøve.

For værker med overskridelser af ammonium kan der samtidig måles indhold af nitrit i det behandlede vand. Det er dog ikke nødvendigvis sikkert, at nitrit i de pågældende tilfælde også vil være i vandet hos forbrugerne, hvis iltindholdet i det behandlede vand er højt nok til, at nitrifikationen fortsætter eventuelt i værkets rentvandsbeholder eller i ledningsnettet. Men under alle omstændigheder er overskridelser af kvalitetskravene for ammonium og for nitrit så vigtige, at de må kræve en indsats på behandlingssiden for de værker, der har disse problemer.

De værker, der har overskridelser af kvalitetskravet for ilt, er ikke nødvendigvis de værker, der har størst ilt-forbrug i filtrene, hvilket normalt er forbundet med højt indhold af ammonium. Ud af de 10 værker, der har for lavt iltindhold i det behandlede vand, har de 5 af værkerne et højt ilt-forbrug, men de resterende 5 har faktisk et meget lavt iltforbrug i henhold til råvandskvaliteten. Samtidig er det for hovedparten af værkerne med højt iltforbrug i filtrene ofte kun mindre overskridelser, der er målt, hvorimod de øvrige værker med lille iltforbrug udviser meget lave iltindhold på 2 - 4 mg O_2 /l, i det behandlede vand. Dette hænger sammen med, at det er trykfilteranlæg med ineffektiv kompressoriltning, se også afsnit 6.4.1.3. Der er således principielt to årsager til lavt indhold af ilt efter filtreringen: Højt iltforbrug i filtrene til omsætning af ammonium m.v. henholdsvis for ringe beluftning og dermed for lavt indhold af ilt inden filtreringen.

6.3 RÅVAND

Værkernes gruppering med hensyn til råvandskvalitet og relateret til vandbehandlingsparametre fremgår af tabel 6.2. Beskrivelse af de råvandstyper, der er udvalgt til undersøgelsen, fremgår i øvrigt af kapitel 4.

I hovedsagen er det således, at de høje indhold af jern og mangan især forekommer i Jylland, hvor der kun sjældent er særligt høje indhold af ammonium i råvandet. Et enkelt af de udvalgte anlæg i undersøgelsen er vandværket på Als i Sønderjylland, der har råvand med højt indhold af metan, jern og ammonium.

Der er ikke værker i undersøgelsen med ekstremt høje manganindhold (højeste indhold er på 0,35 mg Mn/l). Dette er derimod tilfældet for jern, hvor der indgår værker med op til ca. 9 mg Fe/l. Samtidig fremgår, at jern er en

vigtig parameter i undersøgelsen, hvor der er fokuseret på kvalitetsproblemer på mindre vandbehandlingsanlæg.

Det er kun værker i Jylland, som har højt indhold af aggressiv kuldioxid (op til ca. 60 mg/l), og dette er i de undersøgte vandværker oftest knyttet til relativt højt jern- og manganindhold.

TABEL 6.2 GRUPPERING AF RÅVANDSKVALITETER VED UNDERSØGELSEN.

Gruppering af undersøgelsens råvandskvaliteter	Område: Jylland	Område: Sjælland og øvrige øer
<i>Jern (Fe) og mangan (Mn):</i>		
Højt Fe og/eller Mn ¹⁾	4	-
¹⁾ + aggressiv CO ₂	3	-
¹⁾ + CH ₄	1	-
Relativt højt Fe og/eller Mn	4	-
Lavt Fe og Mn	1	-
<i>Metan (CH₄) og ammonium (NH₄⁺):</i>		
Højt CH ₄ og NH ₄ ⁺ og evt. H ₂ S	-	6
Højt NH ₄ ⁺ og Fe	-	2
Højt Fe og lavt NH ₄ ⁺	-	4
Blandet råvandskvalitet	-	2
Note:		
Højt jern: 2 - 9 mg Fe/l.	Højt ammonium: 1,5 - 8 mg NH ₄ ⁺ /l.	
Relativt højt jern: 1 - 2 mg Fe/l.	Højt metan: 2 - 18 mg CH ₄ /l.	
Højt mangan: 0,2 - 0,35 mg Mn/l.	To værker passer ikke ind i ovenstående gruppering af råvandskvaliteterne.	
Relativt højt mangan: 0,1 - 0,2 mg Mn/l.		

For værkerne på Sjælland og øerne ses typisk høje indhold af ammonium (op til 7 mg NH₄⁺/l), og det er også fra de områder, værkerne med metan hovedsageligt er hentet. Der er målt metanindhold op til 18,2 mg CH₄/l. For de værker, der indgår i undersøgelsen er det konstateret, at ammonium er den mest problematiske parameter, for den del af landet.

Der er på Sjælland og øerne også en del værker med højt jernindhold, og nogle af disse værker har samtidig høje ammoniumindhold og enkelte har også høje metanindhold. Der er desuden et par værker med råvand med temmelig varierende og herunder høje indhold af flere parametre, det gælder både metan, ammonium, jern og mangan. Årsagen er, at værkerne har indvindingsboringer med forskellig vandkvalitet. Dette er f.eks. udtalt for Alsønderup vandværk, som har en råvandsboring med højt metanindhold og relativt lavt jern- og manganindhold henholdsvis to råvandsboringer uden metanindhold og med højt jern- og manganindhold.

I undersøgelsen er det således muligt at vurdere behandling af råvand med højt jernindhold og højt ammoniumindhold – hver for sig, men også i samme råvand, og for værker med forskellige anlægstyper. Samtidig er der i undersøgelsens materiale grundlag for at kunne vurdere problemer ved behandling af råvand med relativt små indhold af de samme parametre – især jern og ammonium. Desuden er der grundlag for at vurdere problemer ved behandling af råvand med metan og svovlbrinte henholdsvis med aggressiv kuldioxid og lavt pH.

6.3.1 Blandet råvandskvalitet

Der er værker, hvor råvandets kvalitet i værkets enkelte indvindingsboringer er markant forskellig. Det er især tilfældet for parametre som metan, ammonium og jern, som er dimensionsgivende parametre for vandbehandlingen.

Problemet er tydeligt for Alsønderup, Nejede-Møllehøj og Udby vandværker, og vandværkerne har alle problemer med at overholde vandkvalitetskravene. De pågældende værker er typisk dimensioneret efter blot én af indvindingsboringerne, der oftest har leveret det oprindelige råvand til vandværket.

Den forskellige råvandskvalitet giver problemer for vandbehandlingen, og først og fremmest når værkets beluftnings- og filteranlæg er dimensioneret til lavere indhold af metan og ammonium, end der nu forefindes.

For de aktuelle værker i undersøgelsen er beluftningsanlæggene ikke indrettet med regulering af den indblæste luftmængde, hvorfor den f.eks. kan være for lav for den ene af værkets råvandstyper og for høj for den anden. For lav beluftning kan eksempelvis resultere i utilstrækkelig afluftning af metan med efterfølgende filterproblemer til følge, mens for høj beluftning eksempelvis kan medføre problemer med kalkfældning grundet for vidtgående CO₂ fjernelse fra vandet. Således drives Alsønderup vandværk med konstant INKA-afblæsning uagtet om vandet indpumpes fra den ene boring med højt metanindhold henholdsvis fra de to boringer med lavt eller intet metanindhold. Modsat drives eksempelvis Udby vandværk med en beluftning, som periodevis forekommer utilstrækkelig til hel afblæsning af det høje metanindhold, som forekommer i den ene af værkets to indvindingsboringer.

Desuden giver de forskellige råvandskvaliteter også anledning til problemer ved værkernes drift med vekslende indvinding af råvand med lavt og højt indhold af eksempelvis ammonium: Også her skal beluftningskapaciteten være tilstede i tilstrækkeligt omfang, så de nitrificerende bakterier i filtrene ikke påvirkes u hensigtsmæssigt af et meget varierende iltindhold.

Ved de omtalte problemer med vekslende råvandskvaliteter, som er konstateret ved undersøgelsen, er der fokuseret på vandbehandlingen på værkerne, som er temaet for nærværende undersøgelse. I tilknytning hertil skal dog også bemærkes, at blanding af forskellige typer råvand kan give anledning til andre typer af problemer med vandkvaliteten af kemisk eller mikrobiologisk karakter. Det gælder for råvandet, når det blandes, eventuelt i råvandsledningen, eventuelt først ved behandlingen på værket. Men det gælder også for det behandlede vand, når kvaliteten er vekslende i det vand, der ledes ud fra værkerne. Det er vanskeligt at vurdere, om den type problemer finder sted for nogle af værkerne, da dette ikke konkret har været et tema for nærværende undersøgelse. Det er dog imidlertid klart, at undersøgelsen omfatter eksempler på værker med en potentiel risiko for denne type problemer.

Sammenfattende fremhæves det, at det er væsentligt for opnåelse af acceptabel kvalitet af det behandlede vand, at vandværkerne er designet til behandling af de pågældende råvandstyper, som indvindes til værkerne, herunder at værkerne er i stand til at behandle varierende råvandstyper, såfremt dette udgør grundlaget for deres indvinding. Det er derfor selvsagt også nødvendigt at overveje og ændre behandlingen på et værk, hvis værket påbegynder indvinding fra nye boringer med afvigende råvandstype i forhold

til hidtil anvendte borer. Det kunne også for nogle vandværker overvejes, om det overhovedet er nødvendigt at basere indvindingen på borer med varierende råvandstyper.

I et vist omfang er det muligt at imødekomme problemer med blandet råvandskvalitet ved implementering af forbedrede styringer af indvindingen og behandlingen på vandværkerne. Dog understreges det, at styringen skal være robust under behørig hensyntagen til størrelsen af den type vandværker - og det tilknyttede driftspersonales styringsmæssige baggrund - som har indgået i projektet.

6.4 FORBEHANDLING

Ved forbehandling gennemgår råvandet processer, som klargør det til filtrering, der betragtes som den egentlige vandrensingsproces i behandlingen. Disse processer omhandler beluftning til iltning eller til udluftning af uønskede gasser og endelig neutralisation af aggressiv kuldioxid ved hævnning af pH.

Luftning af råvand indgår ved samtlige vandbehandlingsanlæg i undersøgelsen, dels for iltoptagelse og i flere tilfælde også for at udlufte opløste gasser, som metan og svovlbrinte fra råvandet. Der anvendes forskellige former for beluftningsanlæg, dels anlæg med luftning ved råvandets frie fald gennem luften, eventuelt over en iltningstrappe, og dels anlæg karakteriseret ved mekanisk luftindblæsning i vandet. Endelig er der et anlæg med mekanisk iltningsspiser.

I undersøgelsen er der 8 forskellige anlæg med luftning, herunder bakker og iltningstrapper samt iltningsspiser. Der er 21 anlæg med luftindblæsning, der dels omfatter 8 bundbeluftningsanlæg med luftindblæsning gennem diffusorer, 3 INKA-anlæg og 10 anlæg med lukket kompressoriltning ved trykfiltre.

Ved kompressorbeluftning blæses en luftmængde normalt svarende til omkring 20 - 30 % af vandmængden ind i råvandet typisk ved vandets tilgang til trykfiltrene. Filtrene er udstyret med luftudlader til fjernelse af overskudsluften (den luftmængde, som ikke opløses i vandet).

6.4.1 Beluftning

I dette afsnit om beluftning indgår vurdering af iltning henholdsvis udluftning af uønskede gasser som de egentlige forbehandlingsprocesser. Desuden er medtaget vurdering af mellemiltning og reaktionsbassin ud fra undersøgelsens materiale.

6.4.1.1 Metanfjernelse

Af de 3 værker i undersøgelsen, der har metanindhold højere end 10 mg/l, har et af værkerne INKA-anlæg (Hundested vandværk), og de 2 andre anlæg har bundbeluftning (Gammelsø vandværk hhv. Udby vandværk). Disse 3 værker fjerner generelt set hele råvandets metanindhold inden tilledning til filtrene.

De 2 andre værker i undersøgelsen, der har INKA-anlæg, har hvert sit problem. For Lysabild vandværk er fjernelsen af metan ikke optimal, idet der

måles ca. 0,5 mg CH₄/l efter beluftningen. Funktionen af INKA-anlægget er således ikke optimal. Alsønderup vandværk har problemer, fordi kun 1 af værkets 3 boringer har højt indhold af metan, således at det kun er ved indkobling af denne boring, der burde ske metanafblæsning. Problemet er imidlertid, at værket ikke kan regulere lufttilførslen til INKA-anlægget. Samtidig giver kraftig luftning problemer med vandkvaliteten, hvis det behandlede vand derved bliver særligt kalkfældende – et problem der er velkendt fra vandbehandling, der kræver speciel kraftig udluftning (jf. f.eks. Arvin, 1992).

I de undersøgte værker er INKA-anlæg, bortset fra Alsønderup vandværk med blandet råvand, kun anvendt til afblæsning af metan og svovlbrinte. For bundbeluftning forholder det sig anderledes, idet disse anlæg ud over at være anvendt til udluftning af relativt høje metanindhold (her op til ca. 14 mg/l) også er anvendt alene til tilførsel af ilt til råvandet.

Udluftning af metan finder sted ved 5 bundbeluftningsanlæg, og for samtlige anlæg er metanfjernelsen tilfredsstillende. Ved de forskellige typer af diffusorer anvendt i undersøgelsen, eksempelvis tallerkenbeluftere, fjernes således metanindhold på 2 til 14 mg CH₄/l.

Et værk med kompressorilftning før trykfiltrering (Petersgård Avlsgårds Vandværk), hvor råvandet har et metanindhold på ca. 2,2 mg/l, har en meget svingende og ufuldstændig metanfjernelse, idet der måles 0,10 - 0,75 mg CH₄/l efter luftningen. Kompressorbeluftningen på det pågældende vandværk har således en utilstrækkelig effekt overfor metanindholdet i råvandet.

Brede vandværk har råvand med metanindhold på ca. 1,2 mg/l og luftning af råvandet fra bakke ved frit fald over filter. Undersøgelsens målinger viser, at fjernelsen af metan er noget svingende med restindhold op til 0,32 mg CH₄/l. For Nejede-Møllehøj vandværk med metan op til 2,3 mg/l er en tilsvarende bakkeluftning blevet suppleret med luftindblæsning i reaktionsbassin. Derved opnår dette værk en tilfredsstillende metanfjernelse.

Undersøgelsen viser, at bundbeluftningsanlæg er velegnede til metanfjernelse, også ved relativt høje indhold. Der er således ikke umiddelbart nødvendigt at anvende INKA-anlæg, der normalt giver kraftigere luftindblæsning.

Desuden er vist, at det kun er meget små metanindhold, der kan fjernes uden anvendelse af luftindblæsning. Endelig skal man være opmærksom på, at de lukkede kompressor-anlæg ved trykfiltere kun i begrænset omfang fjerner metan.

6.4.1.2 Svovlbrintefjernelse

Hundested vandværk udgør et eksempel på et værk med særligt højt svovlbrinteindhold. Stensved vandværk, Gammelsø vandværk og Udby vandværk udgør tre andre eksempler på værker med mindre, men dog relativt høje indhold af svovlbrinte i råvandet. Hundested vandværk med særlig højt indhold (3 - 4,5 mg H₂S/l) anvender INKA-anlæg til beluftningen, men fjernelsen af svovlbrinte er, i modsætning til fjernelsen af metan, ikke tilfredsstillende, idet der måles en rest på op til 0,25 mg H₂S/l efter INKA-anlægget. Denne rest omsættes bakteriologisk og medfører dermed et iltforbrug i de efterfølgende filtre.

De 3 andre værker har indhold på 1,5 - 2,5 mg/l i råvandet, og de anvender alle anlæg med bundbeluftning. For disse værker ses ved undersøgelsen en tilstrækkelig fjernelse af såvel svovlbrinte som metan.

Generelt set fjernes mindre indhold af svovlbrinte i råvandet uden problemer ved den normale beluftning på værkerne. Råvand med relativ høje indhold af svovlbrinte kræver særlig behandling (Jensen, 1998). Dette hænger sammen med, at en tilstrækkelig effektiv afblæsning ofte vil give anledning til de i afsnit 6.4.1.1 omtalte problemer med kalkfældende vand.

6.4.1.3 Iltning

Der er en del værker i undersøgelsen, der ved beluftningen får iltmættet råvand, idet der måles 11 - 12 mg O_2/l i det iltede råvand. Det gælder for 2 af de 3 INKA-anlæg og for enkelte bundbeluftningsanlæg. Det er vigtigt at bemærke, at iltmætning kun bør finde sted ved de råvandskvaliteter, der kræver det for optimal behandling.

Det er dog ikke alle værker med bundbeluftning, der ved undersøgelsens målinger viser iltmætning, selv om en del af værkerne på grund af højt ammoniumindhold i råvandet har et stort iltforbrug i filtrene. Disse værker har svært ved at overholde kvalitetskravet til iltindhold i rentvandet på minimum 5 mg O_2/l . For disse anlæg er det vigtigt at få konstateret, om der er mulighed for at regulere luftmængden op. Samtidig er det vigtigt at få undersøgt, om dette i så fald vil give problemer med vandkvaliteten, hvis det beluftede vand derved bliver særligt kalkfældende.

I undersøgelsens materiale måles for en del af værkerne med bundbeluftning iltindhold på ca. 9 mg O_2/l i det iltede råvand, og som er tilstrækkeligt til behandling af det pågældende råvand, når ammoniumindholdet ikke er særlig stort, og iltforbruget i værkets filtre derfor heller ikke er særlig stort.

For værker med kompressoriltning ses enkelte anlæg med tilstrækkelig høje iltindhold ved beluftningen, på ca. 8 - 9 mg O_2/l . Men desværre er der en del værker med kompressoriltning ved trykfiltere, der har en alt for utilstrækkelig iltning af råvandet, på eksempelvis kun 2 - 4 mg O_2/l . Det gælder for 5 af undersøgelsens værker, og samtlige disse værker overholder således ikke kvalitetskravet til iltindhold i rentvandet. Dette er et problem, der bør sættes fokus på – ikke mindst, da der er trykfilteranlæg på markedet, og også blandt dem der indgår i undersøgelsen, der er i stand til at levere tilstrækkelig ilt ved kompressor-beluftningen. Ved nogle af anlæggene i undersøgelsen foreligger der en klar formodning om, at problemet i høj grad har sin årsag i drift og vedligeholdelse af anlægget. Dette understreger, at leverance af et stabilt og driftsikkert anlæg, der er let at vedligeholde, har stor betydning for et mindre vandværk (Bentzen, 1998).

De værker i undersøgelsen, der har åbne luftningsanlæg, enten ved trappeiltning eller bakkeiltning med frit fald over reaktionsbassin eller filter, har iltindhold på 7,5 - 9,5 mg O_2/l efter beluftningen. Eksempelvis er der på Pilegård vandværk med bakkeiltning således målt 8,5 mg O_2/l efter beluftningen. Hovedparten af disse anlæg har ikke problemer med for lidt ilt i rentvandet.

Brede vandværk med bakkeiltning, der har metan og relativt højt indhold af ammonium i råvandet, har problemer med for lidt ilt efter behandlingen.

Tilsvarende som for andre værker i undersøgelsen vil dette eventuelt kunne afhjælpes med en supplerende bundbeluftning, eventuelt i form af en mellemiltning, se i øvrigt det følgende afsnit 6.4.1.4.

Generelt for værkerne bemærkes det, at det behandlede vand eventuelt kan opnå et tilstrækkeligt iltindhold inden det forlader vandværket, eksempelvis ved efteriltning under tilledning til og henstand i rentvandsbeholder.

For vandværker med problemer med utilstrækkelig dosering af ilt i forhold til den efterfølgende vandbehandling bemærkes det endvidere, at ilt også kan doseres som ren ilt fra f.eks. trykflasker, hvorved der kan opløses over 50 mg O_2/l og altså væsentligt mere end de godt 10 mg O_2/l , som maksimalt kan opnås med luft.

6.4.1.4 Mellemiltning

Gammelsø vandværk og Lysabild vandværk har mellemiltning mellem for- og efterfilter. Årsagen er i begge tilfælde et stort iltforbrug for omsætning af højt ammoniumindhold.

Mellemiltningen vurderes for begge anlæg at have givet anledning til øget omsætning af ammonium i filtrene. For Gammelsø vandværk har det således været en løsning som stort set (omend ikke helt) betyder overholdelse kvalitetskravene for ammonium. Dette er desværre ikke tilfældet for Lysabild vandværk, som også har det højeste ammoniumindhold af de to værker.

Effekten af mellemiltning på omsætningen af ammonium skal ses i sammenhæng med opholdstiden i efterfiltrene og dermed den anvendte filterhastighed. Ved for høj hastighed opnås ikke en tilstrækkelig effekt. Lysabild vandværk, som har det højeste ammoniumindhold, har samtidig den højeste filterhastighed på 3,5 m/t, mens Gammelsø vandværk har en meget lav filterhastighed på 1,1 m/t.

De erfaringer, der foreligger med mellemiltning mellem for- og efterfilter, ved undersøgelsen og på vandværker i øvrigt, viser, at mellemiltning er velegnet at etablere på vandværker, som har for utilstrækkelig ilt til filtreringsprocesserne og i det behandlede vand. Men, udover tilstrækkelig opholdstid i efterfiltret, skal man også være opmærksom på, at et stort iltforbrug på grund af en for utilstrækkelig fjernelse af metan, må anbefales løst ved at effektivisere primær beluftningen på værket.

6.4.1.5 Reaktionsbassin

Der er 7 værker med reaktionsbassin i undersøgelsen. For 5 anlæg er det den traditionelle form for reaktionsbassin i forbindelse med luftning ved frit fald over reaktionsbassin eller under iltningstrappe. For 2 anlæg er det den typiske form for reaktionsbassin efter INKA-anlæg.

Hvad angår funktionen af reaktionsbassin har de fleste kun den funktion, at det giver anledning til bundfældning af en del udfældet okker, som da skal renses op fra bassinet. For de fleste af værkerne kunne reaktionsbassinet få en bedre udnyttelse, hvis der blev etableret en form for supplerende bundbeluftning i bassinet. Dette er aktuelt for værker med højt ammoniumindhold og utilstrækkelig beluftning, og det gælder metanfjernelse såvel som ilt-tilførsel.

Lufttilførslen på INKA-anlæg er så stor, at der ofte sker det, at vandet bliver problematisk kalkfældende. Derfor vil man på værker med INKA-anlæg gerne kunne opnå en ekstra afluftning i reaktionsbassinet. For et enkelt værk i undersøgelsen (Alsønderup vandværk) er der ikke iltmætning ved alle målingerne efter INKA-beluftningen, hvilket er utroligt, men både analyser og on-line målinger af ilt på værket bekræfter det. Værket har reaktionsbassin og man skal være opmærksom på, at der i reaktionsbassinet er grundlag for vækst af metanbakterier, der ganske vist omsætter den metan, der måtte være, men samtidig forbruger af den tilførte ilt. Dette kan være årsagen til, at man ved måling af ilt i det beluftede vand inden filtrene måler et lavere iltindhold end ventet, eksempelvis efter INKA-anlægget på førnævnte værk.

Flere forhold, også blandt de i undersøgelsen observerede, peger i retning af, at reaktionsbassiner er overflødige ved vandbehandlingen, hvilket er vigtigt, da de meget ofte er problematiske på grund af drifts- og vedligeholdelsesmæssige årsager (Schrøder, 1998). Sidstnævnte er bekræftet ved flere anlæg i undersøgelsen.

6.4.2 Fjernelse af kalkaggressivitet

Oksbøl vandværk, Endrup vandværk og Stadil vandværk er 3 værker i undersøgelsen med meget høje indhold af aggressiv kuldioxid, som kræver en særlig behandlingsproces med pH-hævning ud over den luftning af råvandet, der sker som forbehandling. For alle 3 værker anvendes et kalkafgivende filtermateriale af typen magno-dol. For Endrup vandværk og Stadil vandværk er der ved en eller flere af undersøgelsens målinger registreret mindre indhold af aggressiv kuldioxid i det behandlede vand. I et enkelt tilfælde er der målt 8 mg aggr. CO_2/l , men der er oftest målt mindre indhold på 2 - 4 mg/l, hvilket er på niveau med den usikkerhed, der er ved målemetoden.

For alle værkerne i undersøgelsen, der benytter kalkafgivende filtermateriale, er det magno-dol i en given kornstørrelse, der er anvendt. Det er vigtigt her at notere sig, at materialet i sin helhed under behandlingen afgives til det kalkaggressive vand. Det er heri, behandlingsprocessen ligger. Værkerne skal derfor have en meget driftsikker rutine for supplering og/eller udskiftning af dette filtermateriale.

Problemer med aggressiv kuldioxid i det behandlede vand for disse værker er derfor størst, hvis materialet ikke er blevet suppleret i tide. Ved en undersøgelse af den her anvendte type gælder det dog, at dette problem ikke nødvendigvis registreres ved en prøveserie på 6 udført indenfor et relativt kort tidsrum, her eksempelvis 3 - 4 uger.

At der ved værker i undersøgelsen alligevel måles mindre og lidt svingende indhold af aggressiv CO_2 i rentvandet er blot et eksempel på, at der ved anvendelse af kemikalier i vandbehandlingen, og især på mindre vandværker, kan ventes kvalitetsmæssige svingninger (se også Jensen, 1984).

6.5 FILTRERING

Undersøgelsen omfatter 15 anlæg med enkeltfiltrering; heraf er 11 anlæg med åbne filtre, og 4 anlæg er med lukkede filtre, der normalt fungerer som trykfiltre. De resterende 14 anlæg har dobbeltfiltrering; heraf er de 9 anlæg

med åbne filtre, 4 er med lukkede filtre, og et enkelt anlæg har en kombination af et trykfilter med et efterfølgende åbent filter.

Det anvendte filtermateriale er helt overvejende kvarts. Et enkelt vandværk i undersøgelsen har dog 2-mediefilter med kombinationen kvarts og antracit. Endelig indgår der enkelte filtre med særlige materialetyper som Nevtraco (produkt med calciumkarbonat) og Magno-dol (produkt med magnesiumoxid og calcium-karbonat), hvor begge materialer afgiver kalk for neutralisering af aggressiv kuldioxid og hævnning af vandets pH.

De undersøgte anlæg giver en bred omend ikke fuldstændig udtømmende dækning af de filtertyper og filtermaterialer, der anvendes på landsplan. Det bør dog bemærkes, at der i undersøgelsen indgår relativt mange åbne anlæg med 20 ud af i alt 29 anlæg. Dette har en vis sammenhæng med, at åbne anlæg typisk dominerer ved dobbeltfiltrering, og der er i undersøgelsen relativt mange anlæg med dobbeltfiltrering, hvilket nok igen bl.a. må tilskrives at der indgår en del værker med vanskelige råvandstyper. På landsplan er enkeltfiltrering dominerende, og især ved mindre behandlingsanlæg, således at der generelt set givetvis forekommer relativt flere anlæg med trykfilter end de ved undersøgelsen omfattede anlæg.

Det skal i den henseende erindres at udvælgelsesgrundlaget for værkerne har været kvalitetsproblemer af den ene eller anden type, og der er i undersøgelsen kun tilstræbt en vis dækning af forskellige råvandstyper, se kapitel 4.

6.5.1 Filtertyper og -hastigheder

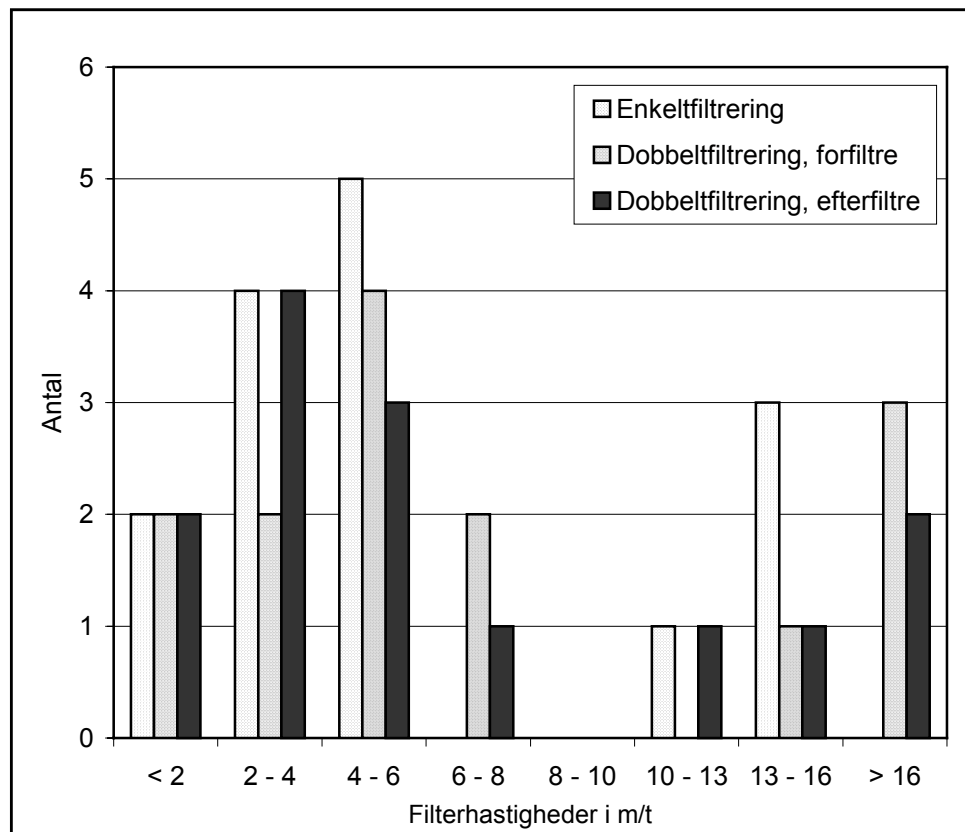
Filterhastighederne på værkerne i undersøgelsen er afbildet i figur 6.3. Filterhastighederne fordeler sig i to kategorier, idet de åbne filtre generelt har lavere hastigheder end trykfilterne.

Filterhastighederne for enkeltfilterne fordeler sig således med typiske hastigheder på 2 - 4 m/t for åbne filtre henholdsvis med typiske hastigheder på 10 - 15 m/t for trykfilterne.

Ved dobbeltfilter anlæggene i undersøgelsen drives forfilterne typisk med samme eller lidt højere hastighed end enkeltfilterne. Det gælder både de åbne forfilter med hastigheder på typisk 4 - 6 m/t og trykfilterne med hastigheder på 13 - 20 m/t. De åbne efterfilter drives oftest med samme hastigheder som forfilterne eller lidt lavere hastigheder end forfilterne. Derimod drives efterfilterne på trykfilter anlæggene, oftest med samme høje hastighed, på op til 20 m/t, som forfilterne.

FIGUR 6.3 FORDELING AF FILTERHASTIGHEDER I M/T VED ANLÆGGENES FILTERKAPACITETER.

Vandret akse angiver hastigheder i m/t. Lodret akse er antal værker med pågældende hastighed. Filterhastighederne er beregnet som de filterkapaciteter (i m³/t), der er oplyst af vandværkerne, divideret med filterarealerne (i m²).



For to af værkerne med åben dobbeltfiltrering (Udby-Rolund og Føns vandværk hhv. Kværndrup vandværk) er hastigheden højere for efterfiltret end for forfiltret. For Udby-Rolund og Føns vandværk er materialelaget i efterfiltret tilmed halvt så stort som i forfiltret, og værket har desuden særligt høje indhold af både jern og ammonium i råvandet. Dette vandværk har da også betydelige kvalitetsproblemer for jern, mangan og ammonium.

Der er flere af værkerne med høj filterhastighed i enkeltfilter, som har store problemer med jernfjernelse og/eller med ammoniumfjernelse. Tilsvarende problemer med manganfjernelse ses ikke i så udpræget grad ved undersøgelsen, da indholdet af mangan har været moderat i råvandet til de undersøgte vandværker. Det bemærkes herunder, at ved udvælgelsen af værker til projektet er der - jf. også projektets baggrund som beskrevet i ovenstående afsnit 1.1 - fokuseret på værker med kvalitetsproblemer med primært jern og ammonium og sekundært mangan (samt metan og svovlbrinte).

6.5.1.1 Jernfjernelse

For problemer med jernfjernelse generelt er årsagen ofte det anvendte filtermateriale. Det gælder materialets kornstørrelse, som for kvarts kan være anvendt i en for grov kornstørrelse. Problemet er da, at det jern, der udfældes ved råvandets iltning, og som i hovedsagen er okker, kan forekomme i forskellige former (Bjerg, 1989). Det mest egnede filter til jernfjernelse skal derfor kunne tilbageholde og rumme såvel store som mindre former af udfældede jernforbindelser, uden at trykfaldet over filtret bliver så stort, at filtret skal returskylles for ofte (Jensen m. fl., 1989). Det er derfor relevant at vurdere jernafsætningen i forskellige filtertyper og sætte det i forhold til den tilladte mængde jern fra råvandet (se afsnit 6.5.3).

Problemer med jernfjernelse skyldes for en række af de undersøgte værker givetvis, at filtrene drives med for høj filterhastighed. Den høje filterhastighed bliver et problem, hvis filterlaget ikke har en tilstrækkelig højde og/eller filtermaterialet samtidig ikke har den rette kornstørrelse. Eksempel på det ses blandt andet ved Stadil vandværk, som er det værk i undersøgelsen, der har det højeste jernindhold i råvandet (på knap 9 mg Fe/l) og samtidig har højt indhold af aggressiv kuldioxid. Værket har åbne dobbeltfiltre og en filterhastighed på ca. 5 m/t, men kun med filterlag på ca. 0,7 m i forfiltret og ca. 0,5 m i efterfiltret.

Desværre er der også eksempler på filtre, der vurderes at have tilstrækkelig filterhøjde, eksempelvis på 1,4 - 2,5 m filterlag ved ca. 3 mg Fe/l i råvandet, som har store problemer med jernfjernelsen (f.eks. Nr. Eskilstrup vandværk og Stigs-Bjergby vandværk). Problemer af den type vurderes især at opstå ved forskellige driftmæssige uregelmæssigheder, der i undersøgelsen er registreret ved on-line målinger på pågældende værker. Eksempler herpå er Nr. Eskilstrup vandværk og Stigs-Bjergby vandværk, som har trykfilter anlæg med kompressoriltning. Det er på disse værker bl.a. konstateret, at overskudsluft presser sig ned i filterlaget, og dermed forringer det disponible filterlag for jern- og manganfjernelsen.

Oplysning om filtermaterialets kornstørrelse har det meget sjældent været muligt at få fra værkerne. Det er for så vidt ikke overraskende, men det er et problem, at vandværkerne meget ofte ikke ligger inde med data for filtermaterialet, dets kornstørrelse og de ilagte mængder inklusiv filtrets bærelag. Der er med stor sikkerhed eksempler i undersøgelsen, hvor det anvendte filtermateriale ikke er optimalt til jernfjernelsen for det pågældende værk.

For Udby-Rolund og Føns Vandværk er problemet dog særlig tydeligt. Dette værk har et grovere kvartsmateriale i værkets efterfiltre end i forfiltrene, og samtidig drives de relativt små efterfiltre med højere hastighed end forfiltrene. Værket har højt jernindhold i råvandet (over 4 mg Fe/l) og store problemer, ikke mindst med jern, med meget betydelige overskridelser på op til 2,4 mg Fe/l i behandlet vand. Værket har ligeledes store problemer med ammonium, med indhold i råvandet på 4 - 4,5 mg/l og indhold på 0,25 - 0,55 mg/l i behandlet vand. Værket kan siges at være et "multi-problem" værk, der har betydelige problemer med at levere vand af en acceptabel kvalitet til forsyning. Der er desværre et par andre lignende eksempler, og det der kendetegner er især højt ammonium og højt jern i råvandet.

Filterskylningen har også indflydelse på jernfjernelsen, blandt andet ved et forhøjet indhold i det filtrerede vand i en vis periode efter, at skylning er effektueret, således at frekvensen for filterskylning får betydning (se også Jensen, 1998). Dette problem er vurderet særskilt og med relation til kvalitetsoverskridelser i afsnit 6.5.5.

Der er flere værker, som kun har mindre overskridelser af kvalitetskravene for jern, men som umiddelbart må vurderes at returskylle filtrene for ofte, måske hvert eller hvert andet døgn, uden at råvandskvaliteten indikerer noget behov for det. Dette er et unødigt problem, som sagtens lader sig løse (se i øvrigt afsnit 6.5.3 om jernafsætning i filtrene).

6.5.1.2 Manganfjernelse

Filtermaterialets lagtykkelse har væsentlig betydning for manganfjernelsen, hvor kvartsmaterialets kornstørrelse ikke er så afgørende som for jernfjernelsen. Det er vigtigt, at der i filtret er tilstrækkeligt filtermateriale med brunstensbelægning, så grundlaget for den autokatalytiske effekt mellem brunsten og Mn^{2+} -ionerne i vandet er i orden. Grundet forskel i redox forhold forekommer brunstens-belægningen dybere i filterlaget end okkerafsætningen (Jensen, 1998).

For manganfjernelsen handler det i høj grad om, at filterhøjde og -hastighed er nøje afstemt. Generelt set gælder, at jo højere filterhastighed, der ønskes anvendt, jo større filterlag skal der til. Det er ikke absolut nødvendigt med dobbeltfiltrering for at sikre et tilstrækkeligt filterlag til manganfjernelse, f.eks. ved manganindhold i råvand højere end 0,2 mg/l. Men materialelaget i et enkeltfilter skal være tilstrækkeligt. Dette ses i undersøgelsen ved eksempelvis Lyngby Vandværk, som har enkelt trykfiltrering i filtre med filterlag på omkring 2 m, og som har en tilstrækkelig manganfjernelse.

Ved undersøgelsen ses kun antydning af, og kun ved enkelte målinger, en for ringe manganfjernelse ved nogle få værker, og i de tilfælde vurderes årsagen at være for ringe lagtykkelse af kvarts ved den anvendte filterhastighed. For nogle værker med overskridelser, der ganske vist er ret små, er der tale om temmelig lave manganindhold i råvandet på omkring 0,1 - 0,15 mg Mn/l.

For et enkelt værk (Strandhuse Vandværk) er der overskridelse af vejledende kvalitetskrav for mangan for rentvandet for samtlige prøvetagninger. Værket har enkeltfiltrering, og selv om filterlaget i det åbne filter ikke er eksakt kendt, må det vurderes at være for ringe til råvandets indhold af mangan på ca. 0,15 mg Mn/l og en filterhastighed på knap 5 m/t.

6.5.1.3 Ammoniumfjernelse

Der er generelt set flere forskellige årsager til problemer med ammoniumfjernelse. Det gælder både filtertype, -opbygning og -hastighed, men råvandets kvalitet er også væsentlig, især når et vandværks borer har forskellig vandkvalitet. Driftsformen er også af stor betydning, især når indkoblingen af borerne ikke kan udjævne forskellene i vandkvaliteten. Problemer af den type er set ved undersøgelsen og kommenteret i afsnit 6.3.1.

Der er flere eksempler på for høj filterhastighed, og dermed for ringe opholdstid i filtret, ved råvand med højt ammonium. Petersgård Avlsgårds vandværk er et særlig typisk eksempel med filterhastighed på 15 m/t og kun enkeltfiltrering ved relativt højt indhold af ammonium i råvandet (1,5 - 2 mg/l), hvor indholdet af ammonium i rentvandet er konstant meget højt på ca. 0,9 mg NH_4^+ /l. Det bemærkes, at dette værk ikke har problemer med for lavt iltindhold.

For nogle værker er filterhastigheden tilstrækkelig lav og opholdstiden skulle være i orden, men da beluftningen er for utilstrækkelig i forhold til forbruget af ilt ved ammoniumomsætningen i filtrene, resterer et for højt ammoniumindhold i rentvandet. Dette ses ved ikke mindre end 3 værker (Hundested, Stensved hhv. Udby vandværk). Der er samtidig for lidt ilt i rentvandet, og for Hundested og især Udby vandværk er der også lejlighedsvis nitrit i rentvandet forårsaget af den ufuldstændige ammoniumomsætning i filtrene.

For værker med for ringe omsætning af ammonium og for lidt ilt i vandet, men med dobbeltfiltrering, kan problemet antageligt løses ved etablering af mellemiltning. Det gælder blandt andet Udby vandværk, som i øvrigt er det værk i undersøgelsen, der har det højeste ammoniumindhold i råvandet på ca. 7 mg/l. Dette værk har dog kun relativt beskedne overskridelser for ammonium, men til gengæld er der generelt målt nitrit i rentvandet. Det kan faktisk siges, at dette værk har en forholdsvis effektiv vandbehandling, hvad angår fjernelse af metan, ammonium og jern, således at en supplerende iltning antageligt kan medføre en vandkvalitet, der overholder kravene.

For værker med relativt lavt ammoniumindhold i råvandet, og hvor der ses problemer med overholdelse af kvalitetskravene, er der i højere grad tale om en for lav opholdstid i filtret, typisk grundet for høj filterhastighed. Sidstnævnte ses eksempelvis for Nr. Eskilstrup vandværk, som har enkeltfilter, der drives med en særlig høj filterhastighed på 16 m/t.

Problemer med nitrit, som fremkommer i vandet i forbindelse med ammoniumomsætningen, nitrifikationen, i filtrene, er hyppigst set for værker med højt ammonium i råvandet; men Oksbøl vandværk udgør et eksempel på et værk med nitrit i rentvandet trods lavt ammoniumindhold i råvandet. Problemet må her vurderes at hænge sammen med lavt iltindhold kombineret med høj filterhastighed (se afsnit 6.5.1.5).

For vandværker med problemer med utilstrækkelig dosering af ilt til fuld omsætning af råvandets ammoniumindhold bemærkes det generelt, at dosering af ilt som ren ilt fra f.eks. trykflasker kan være en mulig løsning på problemet, idet der herved kan opnås et iltindhold op til 50 mg O₂/l i stedet for de godt 10 mg O₂/l, som maksimalt kan opnås med luft.

6.5.1.4 Metan- og svovlbrintefjernelse

De fleste værker i undersøgelsen har effektiv fjernelse af metan ved beluftningen og dermed inden tilledningen til filtrene. Der er dog 3 værker, som har betydelige rester af metan ved tilledningen af det beluftede råvand til filteranlægget. Det gælder jf. tabel 6.3: Brede, Petersgård Avlsgårds hhv. Lysabild vandværk.

Lysabild vandværk har INKA-anlæg, der ikke fungerer optimalt. Metanresten ligger som det fremgår indenfor 0,4 - 0,6 mg CH₄/l. De 2 andre værker har ikke indrettet beluftningsanlægget til metanfjernelse. Brede vandværk har åben luftning af råvandet ved frit fald over filter, og der refterer metan op til 0,32 mg CH₄/l. Petersgård Avlsgårds vandværk har kompressoriltning og enkelt trykfilteranlæg, og der er her målt metan indenfor 0,10 - 0,75 mg CH₄/l i vandet over filter.

TABEL 6.3 VÆRKER MED RESTINDHOLD AF METAN OG SVOVLBRINTE EFTER BELUFTNING.

Vandværk	Indhold af CH ₄ i mg/l i vand efter beluftning	Indhold af H ₂ S i mg/l i vand efter beluftning
Brede Vandværk	< 0,01 - 0,32	< 0,05 - 0,05
Petersgård Avlsgårds Vandværk	0,10 - 0,75	0,05 - 0,20

Lysabild Vandværk	0,40 - 0,60	< 0,05
Hundested Vandværk	< 0,01 - 0,04	0,05 - 0,25

Desuden har Hundested vandværk rimelig fjernelse af metan, men ikke af det høje svovlbrinte-indhold. Dette værk har samtidig store problemer med meget lavt iltindhold i det behandlede vand.

Samtlige 4 værker med tilledning af metan eller svovlbrinte til filteranlægget har større eller mindre problemer med såvel ammonium- som jernfjernelsen og desuden for Hundsted og Lysabild vandværk periodevist med nitrit i det behandlede vand. Dette indikerer således, at den bakteriologiske omsætning af metan henholdsvis svovlbrinte, der foregår i filtrene, påvirker filtermiljøet uheldigt, måske på grund af en "slimmet" vækst af metanbakterier på filtermaterialet.

6.5.1.5 Problematisk driftsform

Det er for flere værker i undersøgelsen med høj filterhastighed konstateret, at de kun er i drift i få timer i døgnet med den høje hastighed, idet produktionen ikke er særlig stor i forhold til værkernes kapacitet. Det fremgår tydeligt ved analyseringen på disse værker, at jernindholdet i rentvandet er meget svingende og kan til tider måles meget højt (eksempelvis op til 1,2 mg Fe/l for Nr. Eskilstrup vandværk). For disse værker ses samtidig store svingninger i on-line turbiditetsmålingerne (se eksempel i figur 6.5 samt optegnelserne af on-line målinger i appendiksdelen til nærværende rapport). Det samme billede med store svingninger i de målte værdier er også set med hensyn til ammonium, hvor der for et af værkerne med høj filterhastighed er målt op til 0,95 mg NH₄/l (Petergård Avlsgårds vandværk).

At der ved enkelte analyser ved nogle værker er målt særlig høje jernindhold har også sammenhæng med, at prøvetagningen har fundet sted kort tid efter, der er foretaget filterskylning (se om dette emne i afsnit 6.5.5).

Problemer af den type, med forhøjet jern henholdsvis ammonium på grund af høj filterhastighed, kan forventes stærkt reduceret ved at lægge driften af vandværket om, således at produktionen foregår med langt større kontinuitet over døgnet og da med betydelig lavere filterhastighed.

En drift, der ikke er alternerende, er generelt gavnlig for såvel jernfjernelsen som ammoniumomsætningen i filtrene. Samtidig er en øget opholdstid i filtret generelt set gavnlig for nitrifikationsbakterierne ved omsætning af ammonium til nitrat. Bakterier fordrer en ensartet tilførsel af det stof, de har rettet deres omsætning mod for at kunne bevares i miljøet, og for de primære nitrifikationsbakterier er det ammonium. Er tilførslen af råvand, og dermed ammonium, lav i perioder, henfalder en del af kulturen, og når tilførslen øges igen, er der ikke en tilstrækkelig kultur i filtrene til at sikre omsætningen af ammonium. Derved bliver effekten ved stop og start af råvandspumper særdeles mærkbar ved højt ammonium i råvandet, hvilket vurderes at være en væsentlig årsag til de store svingninger, der ses i analyserne for hovedparten af disse værker. Af undersøgelsens analysedata fremgår, at dette ses for 7 ud af 9 værker med højt ammonium (fra ca. 1,5 mg/l og op til ca. 7 mg/l).

Det bemærkes yderligere, at problemer med utilstrækkelig jernfjernelse på en del vandværker givetvis kan tilskrives skylning med for lav skyllevandshastighed, hvorved udskylning af det frafiltrerede jern bliver for

ringe. Det må dog erkendes, at de opnåede data fra besøgene på vandværkerne i projektet ikke er dækkende for en analysering heraf, hvilket overvejende skyldes, at de nødvendige data kun i ringe omfang var tilgængelige på værkerne.

6.5.2 Udnyttelse af anlæggenes filter kapacitet

Værkernes aktuelle udnyttelse af deres anlægskapacitet fremgår af figur 6.4.

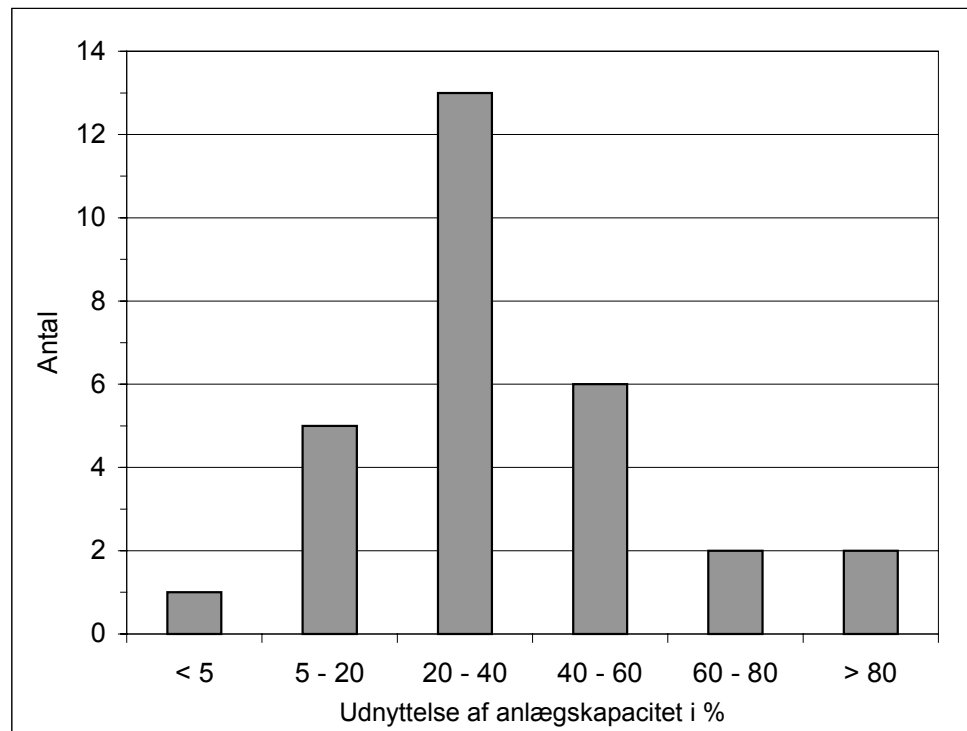
Udnyttelsen, som for værkerne i undersøgelsen typisk ligger under 40 % af kapaciteten og for enkelte en udnyttelse helt ned på 5 - 10%, er opgjort på grundlag af anlæggenes filterkapacitet.

Den ringe udnyttelse må i høj grad tilskrives faldende indvindinger forårsaget af faldende vandforbrug, hvorved værkerne gennemgående behandler væsentligt mindre vandmængder, end de er dimensioneret til. Desuden er der også værker, som ligger i sommerhusområder, hvor udnyttelsen typisk er markant højere i sommerperioden end den øvrige del af året, hvor den kan være meget lav. Den kan eksempelvis være 10% på årsplan men 30% i sommermånederne.

Udnyttelsen af værkernes kapaciteter reguleres typisk ved alternerende drift, (start/stop) således at en stor del af værkerne drives med fuld udnyttelse af kapaciteten i korte tidsrum. Dette er for to af værkerne illustreret på figur 6.5. De to eksempler omfatter et værk med åbne filtre (A) og et værk med trykfiltre (B).

FIGUR 6.4 AKTUEL UDNYTTELSE AF ANLÆGSKAPACITETER.

Vandret akse angiver udnyttelse i %. Lodret akse er antal værker med pågældende brug af anlægskapacitet. Udnyttelsen af anlægskapaciteterne er beregnet som værkernes aktuelle produktion divideret med deres anlægskapacitet (sidstnævnte som oplyst filterkapacitet).



For værket med åbne filtre (A) ses det af trykmålingerne i figur 6.5, at værket typisk drives ca. 4 gange 1 time pr. døgn, hvilket i det pågældende tilfælde er ensbetydende med en udnyttelse på omkring 16 % af værkets kapacitet. Af turbiditetsmålingerne ses, at turbiditeten stiger markant hver gang tilledningen af vand til værket igangsættes. Dette værk har problemer med overholdelse af kvalitetskravene for såvel jern som ammonium.

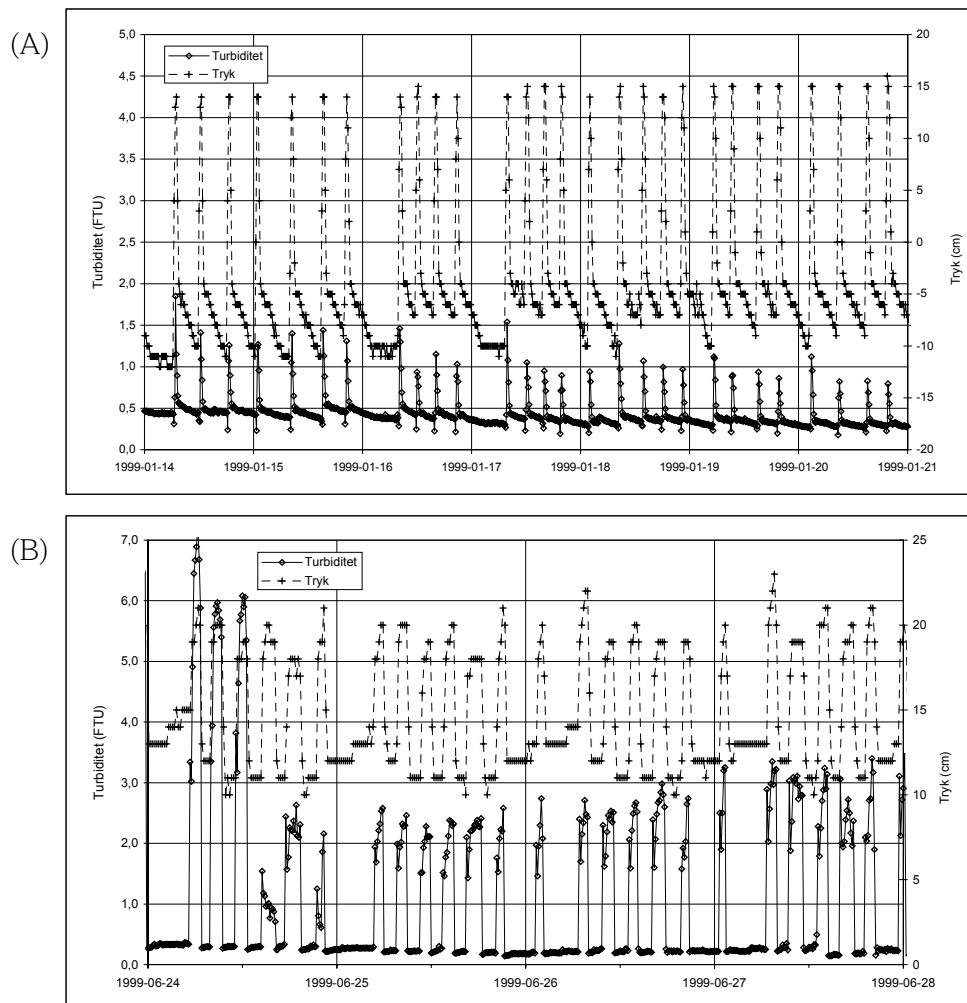
For værket med trykfiltre (B) ses et tilsvarende mønster. Dog må de målte værdier for turbiditeten i dette tilfælde betegnes som meget høje. De høje målinger tilskrives for dette tilfælde, at der er små luftbobler i det behandlede vand fra filtret. Luft fra kompressorbeluftningen, der finder sted i tilgangsrør til filtret, er således ikke tilstrækkeligt afluftet under filtreringen. Luften, som dermed trænger ned gennem filtret, resulterer i en for lav hydraulisk opholdstid i filtret. Værket har blandt andet af denne årsag problemer med overholdelse af kvalitetskravene for jern.

FIGUR 6.5 EKSEMPLER PÅ RESULTATER AF ON-LINE MÅLINGER AF TURBIDITET (OG TRYK).

Vandret akse angiver måledato. Lodret venstre akse angiver turbiditet, mens højre akse angiver vandtryk over filter som indikator for start/stop af værk (driftsperioder).

(A) Nejede-Møllehøj Vandværk har åben enkeltfiltrering.

(B) Stigs-Bjergby Vandværk har dobbelt trykfiltre.



Ved værker med alternerende drift, og som af denne årsag har kvalitetsproblemer der kan relateres til perioderne med høj filterhastighed, bør det vurderes, om værket ved omlægning til en mere jævn drift over døgnet kan få løst eller mindsket problemerne. Eksempelvis kan et værk med en nuværende drift af filterne i 2 - 3 timer og med en hastighed på ca. 16 m/t opnå at kunne nedsætte filterhastigheden betydeligt, hvis filternes driftsperiode øges til omkring 18 - 20 timer. Dette vil utvivlsomt være fordelagtigt for vandkvaliteten, og det gælder især for ammoniumomsætningen i filterne, som omtalt i afsnit 6.5.1.3, men også for jern. Ved flere af on-line turbiditetsmålingerne fremgår, at stop og start har en mærkbar indvirkning på turbiditeten og dermed på jernindholdet i rentvand.

Der er i tabel 6.4 opstillet nogle eksempler på betydningen af en eventuel omlægning af filterdriften til i højere grad kontinuitet i produktionen ved at nedsætte hastigheden. Der er givet eksempler på ændring fra filtrering ved særlig høj hastighed til en form for "langsom-filtrering" over betydelig flere timer i døgnet for derved at opnå en bedre kapacitetsudnyttelse. For nogle værker er den hastighed, der kan opnås, således tilsvarende den typisk anvendte ved langsomfiltere. Kan denne form for driftsomlægning accepteres af vandværkerne, er det muligt, at deres kvalitetsproblemer herved kan løses eller i alt fald reduceres.

TABEL 6.4 EKSEMPLER PÅ EVENTUEL OMLÆGNING TIL BEDRE KAPACITETSUDNYTTELSE.

Vandværk	Kapa- citet m ³ /t	Nuværende driftsforhold			Evt. ændret drift		Kvalitets- problem
		Udnyt %	Filt.hast. m/t	Tid t/dg	Filt.hast. m/t	Tid t/dg	
Nr. Eskilstrup	8	ca. 17	16	ca. 4	ca. 3	ca. 20	Jern
Petersgård	6	ca. 5	15	ca. 1	ca. 0,8	ca. 20	Ammoniu m
Brede	25	ca. 9	5,2	ca. 2	ca. 0,5	ca. 20	Jern

Da der i undersøgelsens materiale er eksempler på værker (f.eks. Udby vandværk og Gammelsø vandværk), der fjerner endog høje ammoniumindhold (se afsnit 6.5.4) rimeligt tilfredsstillende, hvilket utvivlsomt har sin forklaring i, at filtrene drives med lav hastighed på 1 - 2 m/t, kunne det være formålstjenligt at afprøve dette koncept på et eller flere af de i tabel 6.4 anførte værker.

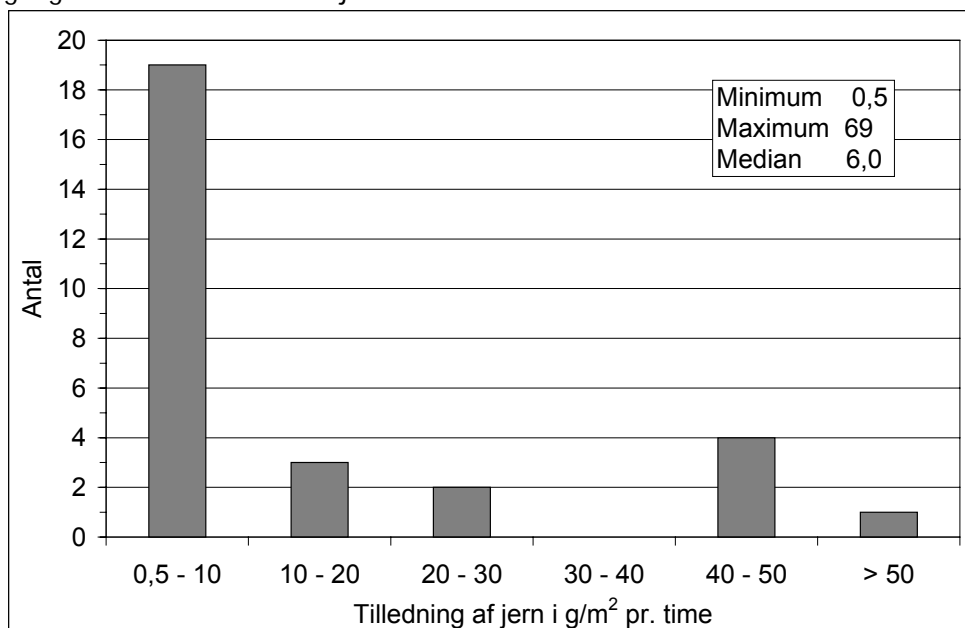
Dette kunne gøres i en form for demonstrationsanlæg, hvor effekten observeres ved analysering efter den anviste omlægning til "langsomfilter", der eventuelt kunne få en særlig lang gangtid mellem filterskyl, måske flere uger. Samtidig måtte det, ved en tilhørende målrettet kontrol, observeres, om den ændrede filtrering skulle give anledning til andre former for problemer med filtrene og vandets kvalitet. Der tænkes her bl.a. på eventuelle mikrobielle problemer, eksempelvis om filtrene på basis af den lange gangtid skulle få et filtermiljø, der giver anledning til dannelse af andre typer mikroorganismer end de normalt forekommende, herunder f.eks. svampesporer. Det er derfor vigtigt at afprøve sådan en driftsform i praksis, inden den kan anbefales som et mere generelt forslag til løsning for vandværkerne.

6.5.3 Filtermaterialer og afsætning af jern i filter

For de undersøgte værker er der set en temmelig stor variation i tilledningen af jern til filtrene. Dette gælder for den absolutte tilledning til filtrene (se figur 6.6) såvel som for den beregnede tilledning i filtergangtiderne, dvs. i tiden mellem filterskylningerne (se figur 6.7).

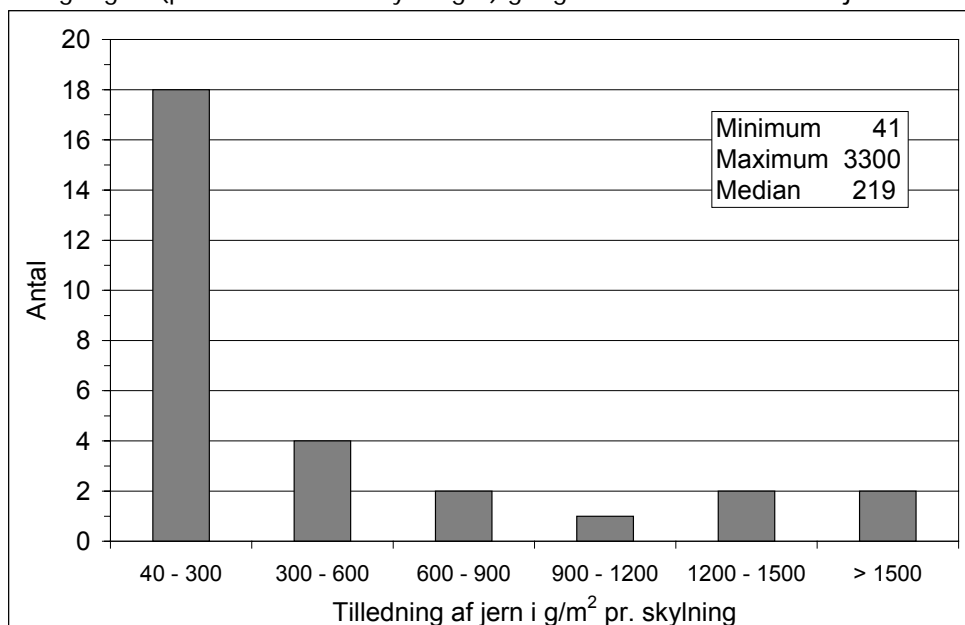
FIGUR 6.6 FORDELING AF TILLEDNING AF JERN TIL FILTRE OPGJORT I G/M² FILTER PR. TIME.

Vandret akse er tilledning af jern i g/m² pr. time. Lodret akse er antal værker med den angivne tilledning. Tilledninger er estimeret som aktuel vandtilledning gange råvandets indhold af jern.



FIGUR 6.7 FORDELING AF TILLEDNING AF JERN TIL FILTRE OPGJORT I G/M² FILTER PR. SKYLNING.

Vandret akse er tilledning af jern i g/m² pr. skylning. Lodret akse er antal værker med den angivne tilledning. Tilledninger er estimeret som aktuel vandtilledning i filtergangtid (periode mellem skylninger) gange råvandets indhold af jern.



Sammenholdes resultaterne med værkernes overholdelse af kvalitetskravene for jern, viser det sig dog, at der ikke er nogen entydig sammenhæng mellem stor tilledning og problemer med overholdelse af kvalitetskravene for jern.

Eksempelvis har Oksbøl vandværk og Aulum vandværk, som er de 2 værker i undersøgelsen med højest tillædning af jern (målt i g/m² filter pr. skyl), ikke problemer med at overholde kriterierne for jern. Begge værker har dobbelt trykfilteranlæg. Oksbøl vandværk behandler råvand med lav pH og anvender magno-dol i filtrene ud over kvarts. Aulum vandværk behandler råvand med neutralt pH og har kun kvartsmateriale.

Stigs-Bjergby vandværk, Nr. Eskilstrup vandværk og Lyngby vandværk udgør modsat eksempler på værker med problemer med utilstrækkelig jernfjernelse, som antageligt bl.a. forårsages af den høje tillædning af jern, som disse værker har.

Vurderes desuden mængden af jern tillædt i en filtergangtid, som vist i figur 6.7, fremgår, at hovedparten af værkerne har en meget ringe jernlædning i gangtiden, dvs. i den tid der går inden filtret skylles igen.

For 18 ud af 29 værker er tillædningen mindre end 300 g jern/m² filter pr. skylning. Den generelle erfaring er, at der under optimale driftsvilkår kan forventes en tillædning af 600 - 900 g jern/m³ i kvartsfiltre ved moderate jernindhold i råvandet, på ca. 2 mg Fe/l (Jensen, 1998). Da materialelagets tykkelse ikke er kendt for samtlige værker i undersøgelsen, har det kun været muligt at beregne denne størrelse for nogle af værkernes filtre, hvor det for andre må bero på et skøn. Det fremgår, at kun 5 værker har en tillædning mellem filterskylning af den anførte optimale størrelse, og at langt de fleste har en alt for ringe tilførsel og dermed afsætning af okker i filtrene inden returskylning. Dette betyder for en del af disse værker, at filterskylning antageligt foretages alt for ofte, hvilket i den sammenhæng er set isoleret i forhold til jernfjernelsen.

Der er forskellige årsager til, at mange vandværker returskyller filtrene for ofte; det kan være en uhensigtsmæssig filteropbygning, ofte knyttet til det anvendte filtermateriale, der giver anledning til for hurtig opbygning af modtryk i filtret. Dette problem er ofte set ved åbne filtre. En filtertype, som 2-mediefiltret, er velkendt for afhjælpning af dette problem (se f.eks. Jensen, 1998). Ørslevkloster vandværk udgør i undersøgelsen et eksempel på et 2-mediefilter, der dog kun har en jernlædning på 300 g jern/m³ ved et relativt lille jernindhold i råvandet (ca. 1 mg Fe/l).

En anden årsag til for hyppig filterskylning er, at der benyttes et standardprogram for skylninger, som kører uden tilstrækkelig kontrol med virkningen. Ved undersøgelsen er dette problem noteret på flere værker og især blandt de anvendte trykfiltre. Da råvandet har andre parametre end jern, vil det altid handle om at få filterskylleprogrammet designet til sammensætningen af det aktuelle råvand. Dette er givetvis ikke sket for ret mange af værkerne i denne undersøgelse. Kvalitetsmæssige konsekvenser forbundet med filterskylning er omtalt i afsnit 6.5.5.

Ved den lavere produktion i forhold til tidligere, som er konstateret for mange værker (jf. afsnit 6.5.2), er stoftillædningen, herunder jern, blevet mindre over tid. Dette er selvsagt en medvirkende årsag til de lave tillædninger, konstateret for jern. Desværre justeres værkernes drift ikke altid i overensstemmelse med de produktionsmæssige ændringer, der finder sted.

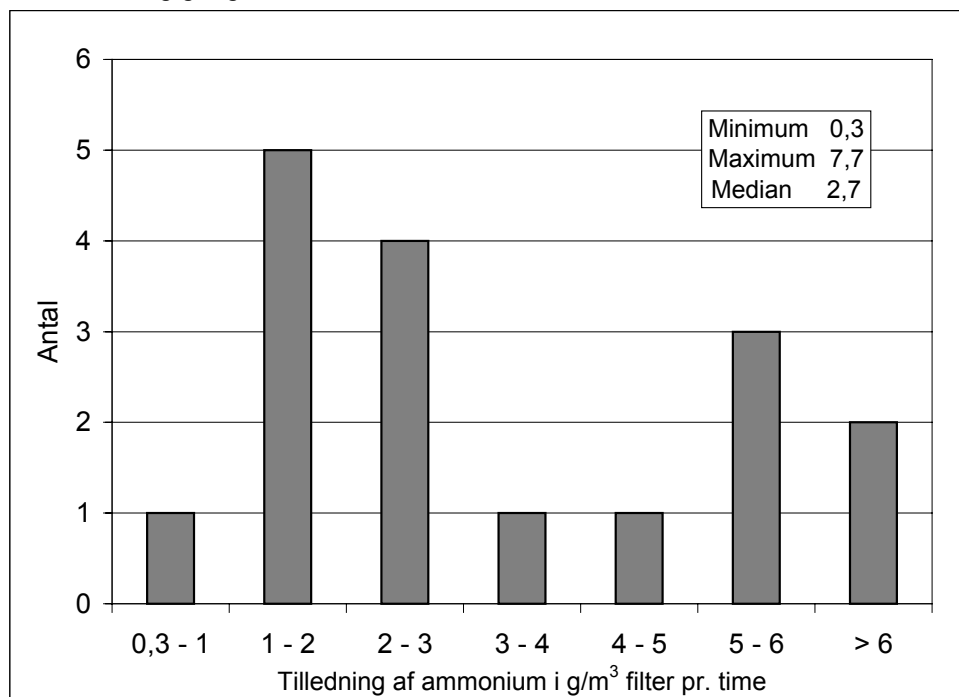
6.5.4 Tilledning og omsætning af ammonium i filtre

For ammonium er der en tendens til, at værkerne med den højeste tilledning har problemer med overholdelse af kvalitetskravene. Eksempler herpå udgøres af Hundested vandværk, Blangslev vandværk, Udby-Rolund og Føns vandværk hhv. Lysabild vandværk. Tilledningen af ammonium er vist på figur 6.8 for værkerne med ammoniumindhold i råvandet højere end ca. 1 mg NH_4^+ /l.

Ovennævnte 4 værker har tilledning af mere end 5 g NH_4^+ /m³ filter pr. time og har problemer med at overholde kriterierne for ammonium. Kunne disse værker acceptere at drive filtrene mere konstant og dermed med en lavere filterhastighed, er der næppe tvivl om, at dette for nogen af værkerne vil være gavnligt for at kunne overholde kvalitetskravene for ammonium. Dette emne er belyst i afsnit 6.5.2.

FIGUR 6.8 FORDELING AF TILLEDNING AF AMMONIUM TIL FILTRE OPGJORT I G/M³ FILTER PR. TIME.

Vandret akse er tilledning af ammonium i g/m³ filter pr. time. Lodret akse er antal værker med den angivne tilledning. Tilledninger er estimeret som aktuel vandtilledning gange råvandets indhold af ammonium.



Det kan tilføjes, at Udby vandværk, der har det højeste ammoniumindhold i råvandet og også har tilledning af mere end 5 g NH_4^+ /m³ filter pr. time, har relativt små overskridelser af kvalitetskravet for ammonium. Filterhastigheden på værket er lav på 1,5 - 2 m/t. Til gengæld ses der her nitrit i rentvandet med et maksimalt indhold på 0,47 mg NO_2 /l, og samtidigt er iltindholdet vekslende målt ned til 2,6 mg O_2 /l. Løsningen for dette vandværk er antageligt at sikre tilstrækkeligt ilt i vandet, og en kontinuert drift af filtrene i endnu højere grad end det sker i dag.

En tilstrækkelig ammoniumfjernelse på vandværkerne er væsentligt bl.a. med henblik på at undgå det potentiale, som restindhold af ammonium udgør, for dannelse af nitrit i værkernes ledningsnet.

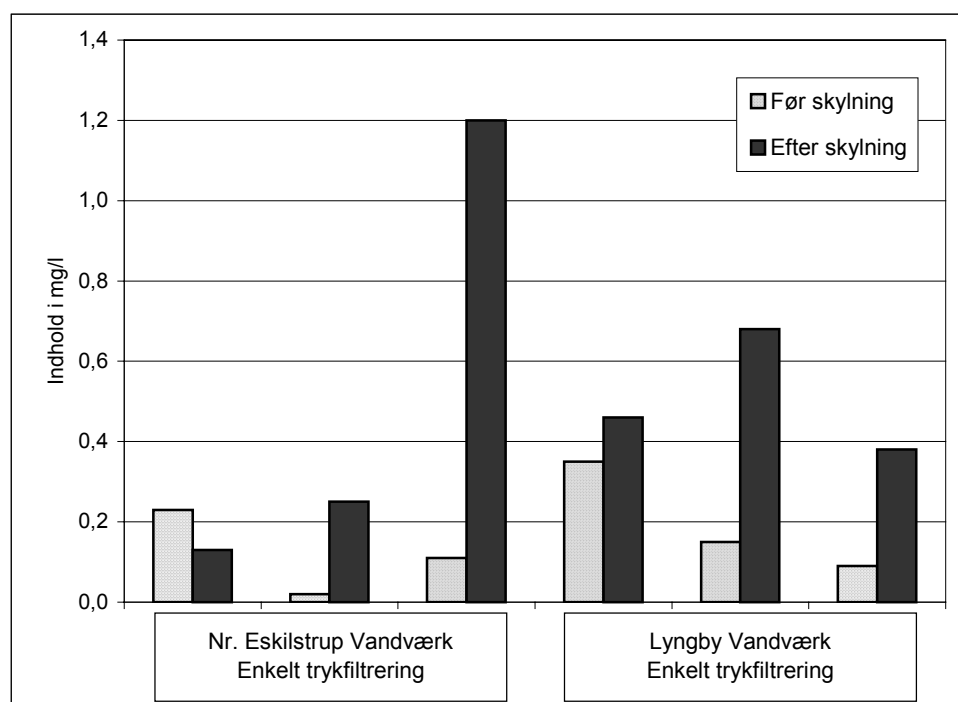
6.5.5 Effekt af filterskylning på jernindhold

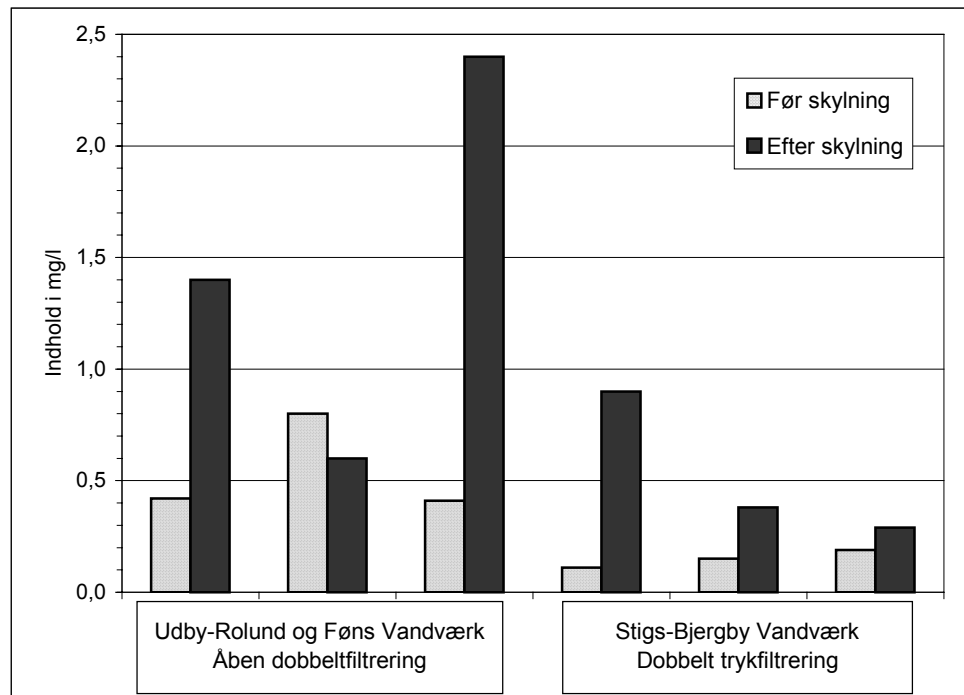
Effekten af filterskylning er undersøgt ved sammenligning af indhold af jern i behandlet vand umiddelbart før henholdsvis efter filterskylning. Nogle prøver er udtaget umiddelbart efter skylning er afsluttet; andre prøver er udtaget 1 henholdsvis 2 døgn efter skylning. Resultaterne heraf er for 4 værker gengivet på figur 6.9.

Det ses af figur 6.9, at filterskylningen for nogle værker resulterer i højere indhold af jern i behandlet vand i en periode efter filterskylningen er afsluttet. Periodernes varighed kan være på nogle få timer, men de kan også være 1 - 2 døgn.

FIGUR 6.9 INDHOLD AF JERN UMIDDELBART FØR HENHOLDSVIS EFTER FILTERSKYLNING.

Vandret akse angiver prøvetagninger ved de forskellige vandværker og filtertyper. Lodret akse angiver jernindhold i mg/l før og efter skylning.





Lyngby vandværk, der har skylning med råvand, har generelt set forhøjet jernindhold, der forhøjes yderligere i forbindelse med filterskylningen. De i figur 6.9 viste prøver efter skylning for dette værk er alle 3 udtaget indenfor 1 time efter skylning. Samtidig har værket hyppig skylning, med alt for ringe afsætning af jern i filtret inden skylning foretages igen. Det fremgår dog, at der ved de øvrige værker, som returskyller filtrene med rentvand, er målt betydeligt højere jernindhold i rentvandet lige umiddelbart efter filterskylning end målt for værket, der skyller med råvand. Der er for disse 3 værker målt indhold over 1 mg Fe/l og for et af værkerne op til 2,4 mg Fe/l. Men for disse værker kan der alligevel måles relativt lave jernindhold i rentvandet i perioden mellem to filterskylninger, og denne periode kan være på 1 - 2 uger.

For hyppige filterskylninger synes dermed at være problematiske i relation til jernfjernelsen i filtrene. Dette vurderes at være tilfældet for flere vandværker, og – ikke overraskende – bl.a. Lyngby vandværk, der returskyller filtrene med råvand, hvilket ligeledes fremgår af de udførte on-line turbiditetsmålinger. Det er dog væsentligt at bemærke, at også andre vandkvalitetsmæssige forhold må tages i betragtning ved fastlæggelse af passende skyllefrequenser (se f.eks. Blandfort, 2001).

En af de årsager, der ofte giver anledning til at værker med åbne filtre skyller filtrene for ofte, er at skylleudstyret ikke er dimensioneret til at kunne yde en tilstrækkelig høj skyllevandshastighed, hvilket især gælder skyllepumpen. De fleste åbne filteranlæg har luftskylning såvel som vandskylning. Dette er ikke altid tilfældet for de trykfilteranlæg, der anvendes, hvorfor dette da kan være årsagen til for ineffektiv returskylning af filtrene.

En anden årsag til for hyppig filterskylning er, at skylleprogram og skyllefrequens ikke er blevet tilrettelagt efter det faldende vandforbrug på værkerne, hvilket giver anledning til at filtrene belastes mindre men returskylles med samme hyppighed som tidligere. Ofte er det således, at den automatiske filterskylning ikke er justeret siden filtrene blev etableret.

Det mest karakteristiske træk med hensyn til frekvens for værkernes filterskylning er, at jo længere filtergangtiden er, jo mindre jernproblemer; og gangtiden kan godt være på ca. 2 uger og endda 3 uger for et værk.

Der er i undersøgelsen kun et enkelt værk (Nejede-Møllehøj vandværk), der vurderes at have en for lang filtergangtid, således at det er medvirkende årsag til kvalitetsproblemer med jern såvel som ammonium.

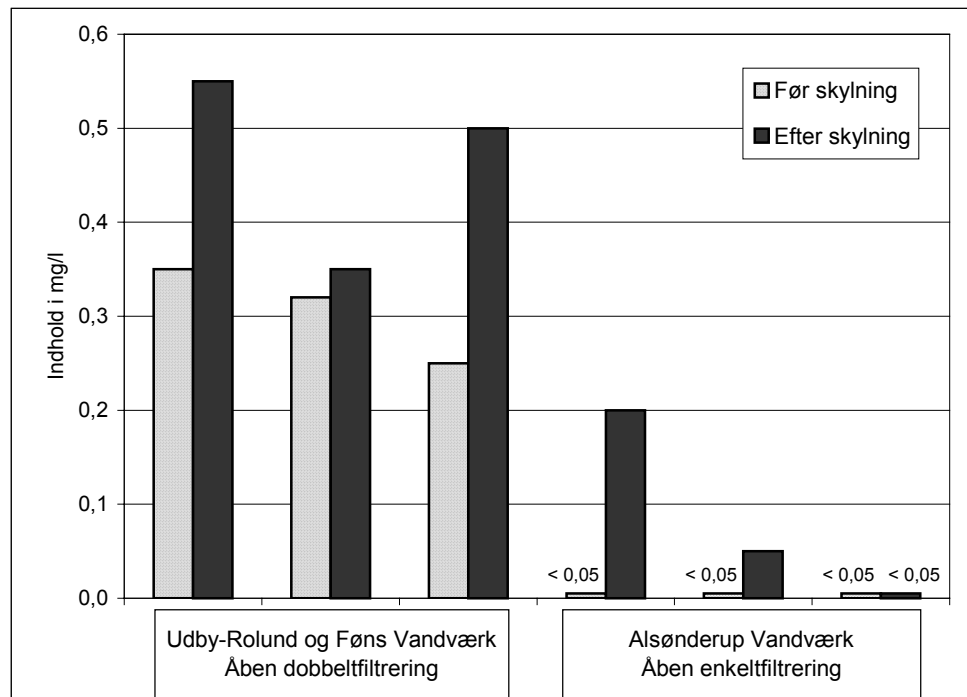
6.5.6 Effekt af filterskylning på ammoniumindhold

Tilsvarende jernfjernelsen er der set på, hvorvidt filterskylning giver anledning til forhøjet ammonium i det behandlede vand i en periode efter filterskylning, således som det er set på nogle værker for jern. Dog bemærkes det, at talgrundlaget herfor er mindre, idet omfanget af registrerede overskridelser er mindre for ammonium end for jern (se afsnit 6.2.1). Der er dog, som det fremgår af figur 6.10, i undersøgelsen målinger, som indikerer, at filterskylningen kan forårsage forøgede indhold af ammonium efter filterskylning.

Det betyder, at man bør være opmærksom på at klarlægge, i hvilket omfang filterskylning giver anledning til kvalitetsproblemer, ud over jern. Det er desuden vigtigt at få klarlagt hvilke tekniske løsninger på problemet, der er bedst egnede for de mindre vandværker, og de filteranlæg der typisk benyttes på disse værker.

FIGUR 6.10 INDHOLD AF AMMONIUM UMIDDELBART FØR HENHOLDSVIS EFTER FILTERSKYLNING.

Vandret akse angiver prøvetagninger ved de forskellige vandværker og filtertyper. Lodret akse angiver ammoniumindhold i mg/l før og efter skylning.



6.6 SAMMENFATNING

Sammenfattende afdækker projektets resultater en række kategorier af problemer for de undersøgte værker. Der gives i det følgende en række eksempler på disse.

Overkapacitet på pumper og anlæg med samtidig drift med fuld belastning i blot få timer om dagen er vurderet som problemgivende for flere værker. Problemet kan tænkes afhjulpet ved at udnytte kapaciteten bedre ved at nedsætte belastningen ved drift i betydelig længere tidsrum dagen igennem, hvilket kan forventes at få betydning især for filtrene og dermed forbedre kvaliteten af det leverede vand. Det skal understreges, at en bedre og mere jævn udnyttelse af kapaciteten på et vandværk fordrer, at værkets rentvandsbeholder er stor nok til at imødekomme spidsbelastninger i forbruget.

For et vandværk, som har indvindingsboringer med varierende råvandskvalitet, viser de forskellige råvandstyper sig ofte at være problematisk for værkets vandbehandling. Der er således nogle af de undersøgte værker, der benytter råvandsboringer med stærkt varierende vandkvalitet uden særlig hensyntagen hertil ved indretningen af behandlingsanlægget. Dette er et problem, der bør undersøges nærmere m.h.t. kemiske såvel som eventuelle mikrobiologiske problemer.

Der er i undersøgelsen værker med uhensigtsmæssigt design f.eks.:

- For lav beluftningskapacitet, som medfører problemer med ammonium og ilt, og i nogle tilfælde metan og eventuelt svovlbrinte.
- Anvendelse af en kompressorbeluftning efter traditionel beluftning og reaktionsbassin. Dette benyttes på et værk, hvor trykfilteranlægget er opstillet som et supplement til og parallelt med anlæg med andre, åbne filtre.
- Kompressorbeluftning ved trykfilter, hvilket er uhensigtsmæssigt til afblæsning af højere metanindhold i råvandet. Dette fordrer design med mere intensive beluftningsmetoder.

og værker designet med utilstrækkelig behandling f.eks.:

- Utilstrækkelig behandling af kalkaggressivt råvand med lavt pH, idet det er set, at neutraliseringen ved anvendelse af magno-materiale kan være svingende og derved utilstrækkelig.

Der er værker med uhensigtsmæssigt hydraulisk design, eller hvor problemet er ufuldstændig pasning heraf. Der er f.eks. set et par værker med tilstoppet hævertbryder med resulterende undertryk i filtrene og heraf resulterende blotlagt materialeoverflade. Disse udgør eksempler på værker med design, som må vurderes ikke at være tilstrækkeligt driftssikkert og driftsvenligt.

Der er en række værker, som drives med høj filterbelastning og heraf resulterende problemer med jernfjernelsen. Der er også enkelte eksempler på problemer med manganfjernelsen, men det er vurderet, at der godt kunne være værker med større problemer end vist ved undersøgelsen.

Der er flere værker med høj tilledning af ammonium og heraf resulterende problemer med ammoniumfjernelsen, hvilket her i undersøgelsen er vurderet

hovedsageligt at være på grund af for høj filterhastighed. Men dette kan også være forårsaget af for lidt ilt til rådighed for nitrifikationen, hvilket der også er eksempel på.

Værker, der driver filtrene med for høj filterhastighed, og samtidig udnytter anlægskapaciteten dårligt kunne formentlig reducere problemerne med vandkvaliteten ved at nedsætte filterhastigheden og samtidig anvende mere kontinuitet i driften. Det gælder for problemer med ammoniumfjernelsen såvel som jern- og/eller manganfjernelsen.

Det er vurderet at forkert filteropbygning (filtermaterialer) er medvirkende årsag til problemer med jern-, mangan- og eventuelt ammonium fjernelsen. Der er værker i undersøgelsen, hvor dette problem er temmelig oplagt, men der er også værker, hvor der i højere grad er tale om et skøn. Oplysninger om filteropbygning med materialer osv. er generelt set mangelfulde på de mindre værker. Samtidig gælder, at de skønnede mangler ved filterdimensioneringen i nogle tilfælde er sammenfaldende med andre dimensioneringsmæssige problemer.

Uhensigtsmæssige filterskylninger kan være betegnelsen for den praksis, der finder sted på flere af værkerne. Det handler dels om, at filterskylning stadig foregår manuelt og lidt tilfældigt på nogle værker, og på de værker med automatisk filterskylning – som er de fleste – er den ofte ikke indrettet efter behovet. Det hænger givetvis noget sammen med den faldende belastning af filtrene, der ses i dag grundet faldende vandforbrug. Er filterskylningen ikke justeret ind siden anlæggets etablering, må det selvsagt gå galt, idet filtrene da returskylles for ofte. Dette får den viste konsekvens med forhøjet jernindhold umiddelbart efter skylning og for nogle værker, vil der også være forhøjet ammonium med de konsekvenser, det har. Der er i undersøgelsen også enkelte værker med en lang filtergangtid, der giver anledning til problemer. Det er først og fremmest vigtigt at have det rigtige skylleudstyr til rådighed, og som kan reguleres, samt en driftsikker filterautomatik, men det handler også om et uddannet mandskab eller en praksis indført med eksempelvis konsulentbistand, for at tilrettelægge det rigtige skylleprogram.

Dårlig pasning af drift og ringe vedligeholdelse er desværre et af de mere generelle problemer set i denne undersøgelse, således at problemer med for lidt ilt eller for ringe jernfjernelse eksempelvis ofte opstår af disse årsager og desuden de omtalte problemer med filterskylningen. En utilstrækkelig kompetence hos driftspersonalet på de mindre vandforsyningsanlæg synes også problematisk set i lyset af undersøgelsens resultater. Typisk er den maskinmæssige og sekundært den styringsmæssige kompetence hos driftspersonalet prioriteret, mens den procesmæssige kompetence har lav prioritet.

Alt i alt synes der at være et opsparet behov for på de mindre vandforsyningsanlæg at få et systemiseret check af anlæggene med fokus på funktionen ved den aktuelle råvandskvalitet, af effektiviteten af beluftningen, af filterbelastningen samt af skylleprocedurer og vedligeholdelsestilstand.

Det skal bemærkes, at undersøgelsen her kun har omhandlet funktionen af de anvendte behandlingsanlæg og effektiviteten af vandbehandlingen i forhold til de stoffer, vandbehandlingen er dimensioneret til at fjerne fra grundvandet for at opnå drikkevandskvalitet.

6.7 OPFØLGNING

I betragtning af at dette projekt med temaet vandbehandling på mindre vandværker, udføres under det overordnede formål, der kendetegner Vandfonden, nemlig at kunne bevare den decentrale vandforsyningsstruktur i Danmark, er det vigtigt at kunne foreslå forskellige løsninger til de vandbehandlingsproblemer, der måtte være under hensyntagen til denne struktur.

De mindre vandforsyningsanlæg udgør grundlæggende en væsentlig del af den decentrale struktur, men de har samtidig også nogle væsentlige problemer med hensyn til at overholde kravene til drikkevandskvalitet.

En stor del af problemerne kan der rådgives om på et rimeligt enkelt niveau med forholdsvis simple løsninger, selv for mindre vandværker med få ejere. Men der er ingen tvivl om, at det ved de lidt mere komplekse problemer er vigtigt med en kompetent indsigt, f.eks. etableret ved en vandbehandlingsanalyse målrettet efter det aktuelle vandværks problemer og herunder indhentning af specifikke informationer om værkets beluftningsanlæg og -effektivitet, filteropbygninger og -materialer, filtreringseffektivitet, filterskyllerutiner, belastningsgrad og -mønster, vedligeholdelsesstand m.m.

For at kunne genbruge erfaringer ved problemløsning på et værk til et andet med lignende problem, kunne en form for demonstrationsanlæg etableres på udvalgte værker. Dette ville i hovedsagen dreje sig om de problemer, der typisk forekommer.

For at skabe det rette grundlag for at effektuere kontrol og påbud om tiltag overfor problemværkerne, skal her endvidere foreslås, at der foretages en kvalificeret kontrol af en række funktionsmæssige forhold ved behandlingsanlægget.

Der skal her fremføres nogle væsentlige punkter, som bør indgå ved et drifts- og funktionstilsyn med relation til vandbehandlingen på mindre værker:

- vurdering af effektivitet og drift af beluftningsanlæg – tilstand og vedligeholdelse af anlægget og herunder udnyttelse af regulering af lufttilførsel, hvis det er muligt – samt vurdering af om ventilationsforholdene i iltningrummet er i orden,
- vurdering af eventuelt behov for supplerende iltning for at kunne efterkomme et højt iltforbrug i filtrene ved højt ammoniumindhold i råvandet,
- vurdering af, om kompressoriltningen såvel som den tilhørende udluftning ved trykfilter fungerer efter hensigten,
- vurdering af værkets driftsprogram, herunder om der er optimal kontinuitet i driften over døgnet under hensyntagen til vandbehandlingen, og da især filtrene – eller modsat, om der er en uhensigtsmæssig diskontinuitet i driften,
- vurdering af filtrenes evne ved stoffjernelsen, eksempelvis om enkeltfilter er tilstrækkeligt – eller ved dobbeltfiltrering, om for- og efterfilter hver især deltager i tilstrækkeligt omfang,

- vurdering af effekten ved filterskylning; herunder skylleanlæggets effektivitet og den rigtige udnyttelse og vedligeholdelse af det til rådighed værende udstyr,
- vurdering af filterskylningens tilhørende effekt på rentvandets kvalitet mht. jern og eventuelt ammonium og betydningen heraf for det udledte vand til forsyningsnettet,
- vurdering af hygiejnemæssige forhold i tilknytning til de aktuelle behandlingsanlæg og øvrige forhold med relation til standarden på værket.

Der er i undersøgelsen set nogle eksempler på ret alvorlige overskridelser af kvalitetskravene, som strengt taget kunne have foranlediget, at de pågældende værker ikke mere leverede vand til drikkevandsforsyning.

Det kontrolmæssige tilsyn med vandværkerne, har ikke indgået som element i nærværende undersøgelse. Dog må en alvorlig konsekvens af undersøgelsens resultater siges at være, at myndighedskontrollen med de mindre vandforsyningsanlæg tilsyneladende trænger til en opstramning, og at opmærksomheden derfor fortsat må rettes mod dette forhold. Dertil kræves konstruktive og praktiske forslag, som der kan skabes forhåbning om, kan blive efterlevet i branchen. Dette inkluderer vandforsyninger såvel som leverandører af vandbehandlingsanlæg. Sidstnævnte af hensyn til at få robuste, driftsikre og driftsvenlige anlæg på markedet.

En utilstrækkelig kompetence hos driftspersonalet på de mindre vandforsyningsanlæg synes også problematisk set i lyset af undersøgelsens resultater. Typisk er den maskinmæssige og sekundært den styringsmæssige kompetence hos driftspersonalet prioriteret, mens den procesmæssige kompetence har lav prioritet. Utilstrækkelig kompetence hos driftspersonalet kan på sigt være problematisk for bibeholdelse af den nuværende decentrale danske vandforsyningsstruktur, men kan eventuelt søges imødegået ved opbygning af netværk for udveksling af viden og erfaringer blandt driftspersonalet.

7 Referencer

- Arvin, E. (1992). *Udluftning af chlororganiske forbindelser – Konsekvenser for vandets kvalitet*. Danske Vandværkers Forening, Vandforsyningsteknik 41.
- Bentzen, M. (1998). *Etablering af vandforsyning*. Kapitel 22. Vandforsyning. Teknisk Forlag.
- Bjerg, P. (1989). *Filtrering af jern i kalkbehandlet grundvand*. Rapport 2. Litteratur. Kemp & Lauritzen A/S.
- Blandfort, J.C. (2001). *Mikrobiologisk vækst i vandværksfiltre*. Danske Vandværkers Forening, Vandforsyningsteknik 50.
- Jensen, E.D., Bjerg, P., Henze, M. (1989). *Filtrering af jern i kalkbehandlet grundvand*. Rapport 1. Undersøgelser i pilot-anlæg. Kemp & Lauritzen A/S.
- Jensen, E.D. (1998). *Normalbehandling af grundvand*. Kapitel 14. Vandforsyning. Teknisk Forlag.
- Jensen, E.D. (1998). *Særlig behandling af grundvand*. Kapitel 15. Vandforsyning. Teknisk Forlag.
- Jensen, E.D., Henze, M. (1984). *Kalktilsætning til vandforsyningsvand*. Vandteknik nr. 5.
- Miljøministeriet (1988) *Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg*. Bekendtgørelse nr. 515 fra Miljøstyrelsen, 29. august 1988.
- Schrøder, L. (1998). *Drift og vedligeholdelse*. Kapitel 23. Vandforsyning. Teknisk Forlag.

Appendiks 1

Skrivelse til udvalgte vandværker

MILJØSTYRELSEN

Vandforsyningskontoret

J.nr. M

Ref. JF/20

Undersøgelse af vandbehandlingsmetoder på en række danske vandværker

Den

De mindre vandværker har fået en håndsækning af regeringen i form af en bevilling på 70 millioner kr. om året til Vandrådet, som skal anvende pengene til sikring af den decentrale vandforsyning blandt andet mod uforskyldt forurening.

En mindre del af midlerne skal anvendes langsigtet til forsknings- og undersøgelsesprojekter.

Det er i denne forbindelse vi henvender os til Dem.

Miljøstyrelsen gennemfører projekterne for Vandrådet, men har bedt Krüger, RAMBØLL og R.DONS' Vandanalytisk Laboratorium om at assistere ved en undersøgelse af hvorledes vandbehandlingen fungerer på en række mindre danske vandværker. Der lægges i denne undersøgelse især vægt på at se på hvor godt jern, mangan, ammonium, metan og svovlbrinte fjernes på en række vandværker med forskellig grundvandskvalitet og forskellig vandbehandling.

Der skal udvælges 25 mindre vandværker og 5 enkeltforsyninger.

Deres vandværk er med på en liste over vandværker med grundvandskvalitet og vandbehandling, som er typisk for dansk vandbehandling.

Miljøstyrelsen vil sætte stor pris på, at De melder Deres interesse for at deltage i undersøgelsen af Deres vandværk ved at udfylde vedlagte spørgeskema. De behøver ikke at udfylde hele skemaet på nuværende tidspunkt. Vi vil i starten bede Dem om at udfylde de

Miljø- og Energiministeriet
Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

Tlf. 32 66 01 00
Fax 32 66 04 79
Telex 31 209 miljodk
E-post (X-400): I=mst;
S=Miljøstyrelsen;O=Miljøstyrelsen;
OU1=mst;P=sdn;A=dk400;C=dk;
E-post (Internet): mst@mst.dk
Internet: www.mst.dk

praktiske oplysninger i skemaets øverste kasse om kontaktperson, telefon og træffetid. Men De er da velkommen til at udfylde hele skemaet allerede på nuværende tidspunkt.

Vi beder Dem returnere skemaet senest mandag den 1. Februar 1999.til

Krüger A/S
Gladsaxevej 363
2860 Søborg
Att.: Christian Stamer

De er velkommen til at stille spørgsmål til Christian Stamer fra Krüger A/S på tlf. 39 69 02 22 eller til Jens Nonboe Andersen fra RAMBØLL på tlf. 45 98 83 00, som er de ansvarlige for undersøgelsen.

Vi ser frem til et godt samarbejde i sagen.

Med venlig hilsen

Janne Forslund

Vandværksskema

Undersøgelse af vandbehandlingsmetoder på en række danske vandværker

Vandværkets navn	
Adresse	<hr/> <hr/>
Kontaktperson	
Telefon nr	<hr/>
Telefax nr	<hr/>
E-mail	
Træffetid	

Vandværkets maximale filterkapacitet: _____ m³/hVandværkets indvinding: _____ m³/år

Antal boringer: _____ stk. i alt

Antal boringer: _____ i normal drift

Luftningssystem: _____

Antal filtre: _____ stk. forfiltre

_____ stk. efterfiltre

Skyllefrekvens: _____

_____*De bedes kortfattet beskrive, hvor tit og hvor længe De skyller filterne og med hvilke vandmængder.*Skyllevandsbehandling: _____

_____*De bedes kort beskrive, hvorledes skyllevandet behandles og afledes.*Eventuelle bemærkninger: _____

Underskrevet

_____ den _____

på vandværkets vegne

Beskrivelse af undersøgelsen af vandbehandlingsmetoder på en række danske vandværker

Undersøgelsens forløb

Undersøgelsen er opdelt i 2 faser:

De vil i **fase 1** blive kontaktet af en af vore vandværksingeniører med henblik på et orienterende besøg, hvor vi vil forsøge at få et klart billede af vandværkets opbygning og drift. Vi skal i denne forbindelse anmode Dem om at bidrage med vandværkets egne optegnelser således, at vi efter besøget fyldestgørende kan beskrive følgende:

1. de anvendte boringers betegnelse, placering og kvalitet,
2. vandbehandlingsens dimensioneringsforhold,
3. kortlægning af driftsforhold,
4. eventuel for- og efterbehandling,
5. renseeffekter over for forskellige typer af stoffer,
6. filterskyllningen, herunder luft, vand og stofmængder.

Vi beder Dem derfor i forbindelse med det aftalte besøg finde relevante analyser af råvand og drikkevand frem, samt eventuelle beskrivelser af anlæggets indretning og funktion herunder udskiftning af filtermaterialer. Vi modtager også gerne forud for besøget kopi af eksisterende beskrivelser af vandværket.

Undersøgelsens **fase 2** vil omfatte en række prøveudtagninger på værket. Vandværket besøges 6 gange.

I tre driftsperioder udtages prøver fra anlægget kort tid efter en skylning og kort tid før den næste skylning. Prøverne udtages dels som råvandsprøver før og efter iltningen, dels som rentvandsprøver fra filterafgang. Ved dobbeltfiltrering tages yderligere prøve mellem filtrene. pH-værdien måles ved prøveudtagningen sammen med en temperaturmåling.

Udover stikprøverne af vandets kvalitet vil der blive foretaget en løbende måling af vandets uklarhed (turbiditet) i hele prøveperioden. På anlæg med stort iltforbrug, dvs. med forhøjet ammoniumindhold, vil der ligeledes blive foretaget løbende måling af iltindholdet efter filtrene.

De bedes derfor undersøge,

- **om der er mulighed for at tilslutte prøveudtagningsudstyret til en vandhane efter filteranlægget og**
- **om der er en stikkontakt (220 V), som udstyret kan få strøm fra samt**
- **at der er lidt plads til udstyret i nærheden af filtret samt til**
- **at vandet fra måleudstyret, ca 30 l pr time, kan returneres til filtre eller til indløb/afløb.**

Der vil kunne gå et stykke tid mellem besøget hos Dem i fase 1 og prøveudtagningen i fase 2, idet vi højst kan arbejde med to vandværker ad gangen. Projektet strækker sig derfor gennem hele 1999.

I forbindelse med projektet vil der bruges et EDB program GeoGIS LT til de indsamlede data og målinger. Efter undersøgelsen er afsluttet vil De uden beregning få tilbudt programmet til udveksling af analysedata. GeoGIS LT indeholder derudover faciliteter til bl.a. registrering af boringer, pejletidsserier samt til tidsserier over analyseværdier. Installationen af programmet kræver naturligvis adgang til en passende PC.

Projektledelsen

Appendiks 2

Oversigter over resultater af analyser
af råvand og af behandlet vand

Råvandsdata

Kemidata for råvand			pH	Jern Indhold i mg/l	Mangan Indhold i mg/l	Ammonium Indhold i mg/l	Methan Indhold i mg/l	Svovlbrente Indhold i mg/l	Aggr. CO ₂ Indhold i mg/l
Sorteret efter kommune nr.	Kommune navn	nr.							
Anlæg									
Pilegård Vandværk	Ballerup	151	7,25 - 7,55	3,2 - 3,75	0,16 - 0,20	0,45 - 0,60	< 0,01	0,10 - 0,25	-
Brede Vandværk	Lyngby-Taarbæk	173	7,35 - 7,6	0,60 - 0,65	0,06	0,65 - 0,70	1,1 - 1,25	0,25 - 0,30	-
Græsted Vandværk	Græsted-Gilleje	213	7,25 - 7,4	2,0 - 2,6	0,21 - 0,25	1,1 - 1,2	2,7 - 4,4	0,05 - 0,25	-
Alsønderup Vandværk	Hillerød	219	7,4 - 7,7	1,0 - 3,8	0,07 - 0,35	0,50 - 1,2	< 0,01 - 9,2	0,30 - 1,0	-
Nejede-Møllehøj Vandværk	Hillerød	219	7,2 - 7,6	2,5 - 8,9	0,12 - 0,32	1,2 - 1,9	0,55 - 2,3	0,05 - 0,15	-
Hundested Vandværk	Hundested	221	7,15 - 7,35	0,50 - 0,90	0,03 - 0,06	3,1 - 3,6	11,8 - 18,2	3,0 - 4,7	-
Haraldsborg Vandværk	Roskilde	265	7,25 - 7,45	0,30 - 0,34	0,015 - 0,020	1,1	< 0,01	< 0,05	-
Stigs-Bjergby Vandværk	Tornved	341	7,25 - 7,45	2,9 - 3,2	0,10 - 0,15	1,0 - 1,1	< 0,01	0,05 - 0,15	-
Kr. Eskilstrup Vandværk	Tølløse	345	7,2 - 7,5	1,6 - 2,7	0,03 - 0,15	0,25 - 0,65	< 0,01	0,10 - 0,20	-
Nr. Eskilstrup Vandværk	Tølløse	345	7,2 - 7,3	2,4 - 3,3	0,08 - 0,10	0,40 - 0,50	< 0,01	< 0,05 - 0,10	-
Blangslev Vandværk	Fladså	353	7,10 - 7,15	0,36 - 0,63	0,01 - 0,02	1,3 - 2,6	1,9 - 2,8	0,50 - 1,7	-
Petersgård Avlsgårds Vandværk	Langebæk	361	7,15 - 7,85	0,45 - 0,75	0,03	1,9	2,1 - 2,4	0,60 - 1,4	-
Stensved Vandværk	Langebæk	361	7,05 - 7,3	0,12 - 0,23	< 0,005	1,6	1,5 - 2,1	1,5 - 2,5	-
Gammelsø Vandværk I/S	Møn	365	7,05	0,28 - 0,65	0,01	2,4 - 2,5	13,5 - 14,0	1,5 - 1,7	-
Udby Vandværk	Møn	365	7,0 - 7,05	0,56 - 2,2	< 0,005	6,3 - 7,0	11,5	1,4 - 2,0	-
Udby-Rolund og Føns Vandværk	Nørre-Aaby	451	7,5 - 7,6	4,0 - 4,3	0,18 - 0,20	4,0 - 4,5	-	-	-
Lejbølle Vandværk	Rudkøbing	475	7,05 - 7,15	1,7 - 3,55	0,04	1,0 - 1,1	-	-	< 2
Kværndrup Vandværk	Ryslinge	477	7,2 - 7,3	1,2 - 2,6	0,18 - 0,33	0,55 - 0,70	-	-	< 2
Lysabild Vandværk	Sydals	535	7,0 - 7,2	2,0 - 3,8	0,12 - 0,13	3,2 - 3,6	4,5	0,05	-
Oksbøl Vandværk Gl.	Blåvandshuk	555	5,9 - 6,0	4,7 - 5,5	0,16 - 0,21	0,30 - 0,35	-	-	30 - 39
Endrup Vandværk	Bramming	557	4,85 - 4,95	0,34 - 1,3	0,30 - 0,32	< 0,05 - 0,60	-	-	53 - 56
Strandhuse	Kolding	621	7,35 - 7,65	1,2 - 1,4	0,13 - 0,16	0,25 - 0,40	-	-	< 2
Ejstrupholm Vandværk	Nørre-Snedede	625	7,4 - 7,65	1,0 - 1,1	0,13 - 0,15	0,10 - 0,12	-	-	< 2 - 4
Aulum Vandværk, Gl. anlæg	Aulum-Haderup	651	7,25 - 7,55	2,4 - 2,6	0,20 - 0,22	0,15	-	-	< 2
Stadil Vandværk	Ringkøbing	667	5,0 - 5,6	8,7 - 8,9	0,22 - 0,27	0,50 - 0,60	-	-	54 - 59
Hårby Vandværk	Hørning	715	7,35 - 7,5	0,06 - 0,90	0,12 - 0,30	< 0,05	-	-	< 2
Auning Vandværk I/S, Nordre	Sønderhald	747	7,4 - 7,45	0,51 - 0,58	0,04 - 0,05	0,05 - 0,08	-	-	< 2
Lyngby Vandværk	Århus	751	7,35 - 7,4	1,4 - 1,6	0,24 - 0,26	0,20 - 0,22	-	-	< 2
Ørslevkloster Vandværk	Skive	779	7,5 - 7,7	0,85 - 1,1	0,14 - 0,17	0,20 - 0,30	-	-	< 2

Rentvandsdata

Kemidata <i>Sorteret efter kommune nr.</i>	Problemstof --->		Jern			Mangan			Ammonium		
	Kommune navn	nr.	Indhold i mg/l i behandlet vand			Indhold i mg/l i behandlet vand			Indhold i mg/l i behandlet vand		
Anlæg			Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
Pilegård Vandværk	Ballerup	151	< 0,01	0,04	0,01				< 0,05	0,20	0,06
Brede Vandværk	Lyngby-Taarbæk	173	< 0,01	0,33	0,07						
Græsted Vandværk	Græsted-Gilleje	213	0,06	0,19	0,13				< 0,05	0,25	0,11
Alsønderup Vandværk	Hillerød	219	< 0,01	0,09	0,03				< 0,05	0,20	0,05
Nejede-Møllehøj Vandværk	Hillerød	219	0,08	0,40	0,20				0,05	0,12	0,09
Hundested Vandværk	Hundested	221	< 0,01	0,07	0,04	< 0,005	0,03	0,02	0,08	0,12	0,11
Haraldsborg Vandværk	Roskilde	265	< 0,01	0,05	0,02						
Stigs-Bjergby Vandværk	Tornved	341	0,11	0,90	0,34	0,02	0,03	0,03			
Kr. Eskilstrup Vandværk	Tølløse	345	0,03	0,075	0,05						
Nr. Eskilstrup Vandværk	Tølløse	345	0,02	1,20	0,32	0,02	0,04	0,03	< 0,05	0,08	0,05
Blangslev Vandværk	Fladså	353	< 0,01	0,04	0,02				< 0,05	0,10	0,06
Petersgård Avlsgårds Vandværk	Langebæk	361	< 0,01	0,08	0,03	0,01	0,04	0,02	0,80	0,95	0,88
Stensved Vandværk	Langebæk	361	< 0,01	0,03	0,01				0,28	0,45	0,35
Gammelsø Vandværk I/S	Møn	365	< 0,01	0,035	0,02				0,05	0,12	0,09
Udby Vandværk	Møn	365	0,03	0,055	0,04				< 0,05	0,25	0,12
Udby-Rolund og Føns Vandværk	Nørre-Aaby	451	0,41	2,4	1,0	0,01	0,06	0,03	0,25	0,55	0,39
Lejbølle Vandværk	Rudkøbing	475	< 0,01	0,09	0,05	< 0,005	0,01	< 0,005	< 0,05	0,12	< 0,05
Kværndrup Vandværk	Ryslinge	477	< 0,01	0,13	0,06						
Lysabild Vandværk	Sydals	535	0,10	0,17	0,13				0,17	0,25	0,22
Oksbøl Vandværk Gl.	Blåvandshuk	555	< 0,01	0,01	< 0,01						
Endrup Vandværk	Bramming	557	< 0,01	0,13	0,07	< 0,005	0,04	0,02			
Strandhuse	Kolding	621	< 0,01	0,095	0,06	0,03	0,04	0,03			
Ejstrupholm Vandværk	Nørre-Snede	625	< 0,01	0,02	0,01						
Aulum Vandværk, Gl. anlæg	Aulum-Haderup	651	< 0,01	0,04	0,04						
Stadil Vandværk	Ringkøbing	667	0,01	0,17	0,06						
Hårby Vandværk	Hørning	715	< 0,01	0,13	0,08						
Auning Vandværk I/S, Nordre	Sønderhald	747	< 0,01	0,24	0,06	< 0,005	0,03	0,01			
Lyngby Vandværk	Århus	751	0,09	0,68	0,35						
Ørslevkloster Vandværk	Skive	779	< 0,01	0,04	0,02						

Rentvandsdata

Kemidata <i>Sorteret efter kommune nr.</i> Anlæg	Problemstof ---> Kommune navn	nr.	Nitrit			Ilt			Bemærkninger
			Indhold i mg/l i behandlet vand Min.	Max.	Avg.	Indhold i mg/l i behandlet vand Min.	Max.	Avg.	
Pilegård Vandværk	Ballerup	151							
Brede Vandværk	Lyngby-Taarbæk	173				3,7	7,4	5,5	
Græsted Vandværk	Græsted-Gilleje	213							
Alsønderup Vandværk	Hillerød	219	< 0,01	0,02	< 0,01				
Nejede-Møllehøj Vandværk	Hillerød	219							
Hundested Vandværk	Hundested	221	< 0,01	0,02	< 0,01	0,2	1,5	0,93	
Haraldsborg Vandværk	Roskilde	265				4,2	5,9	5,0	
Stigs-Bjergby Vandværk	Tornved	341	< 0,01	0,02	< 0,01				
Kr. Eskilstrup Vandværk	Tølløse	345							
Nr. Eskilstrup Vandværk	Tølløse	345	< 0,01	0,02	0,01				
Blangslev Vandværk	Fladså	353				4,6	5,8	5,1	
Petersgård Avlsgårds Vandværk	Langebæk	361							
Stensved Vandværk	Langebæk	361				4,1	7,4	5,6	
Gammelsø Vandværk I/S	Møn	365	< 0,01	0,03	< 0,01				
Udby Vandværk	Møn	365	0,14	0,47	0,30	2,6	7,3	4,1	
Udby-Rolund og Føns Vandværk	Nørre-Aaby	451							
Lejbølle Vandværk	Rudkøbing	475							
Kværndrup Vandværk	Ryslinge	477							
Lysabild Vandværk	Sydals	535	< 0,01	0,03	0,01				
Oksbøl Vandværk Gl.	Blåvandshuk	555	0,04	0,06	0,05	2,9	5,2	4,0	pH målingerne viser 8,2 - 8,8
Endrup Vandværk	Bramming	557							Tre overskridelser på aggr. CO2
Strandhuse	Kolding	621							
Ejstrupholm Vandværk	Nørre-Snedede	625							Tre overskridelser på aggr. CO2
Aulum Vandværk, Gl. anlæg	Aulum-Haderup	651				1,7	2,5	2,0	
Stadil Vandværk	Ringkøbing	667				3,6	5,4	4,6	En overskridelse på aggr. CO2
Hårby Vandværk	Hørning	715							
Auning Vandværk I/S, Nordre	Sønderhald	747				1,7	4,1	2,4	
Lyngby Vandværk	Århus	751							
Ørslevkloster Vandværk	Skive	779							

Appendiks 3

Oversigt over tidspunkter for
prøvetagninger og filterskyllinger

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Pilegård Vandværk		1	1999-04-16	
	1999-04-16			
		2	1999-04-22	
	1999-04-22			
		3	1999-04-23	
		4	1999-04-28	
	1999-04-28			
		5	1999-04-29	
	6	1999-05-11		
	1999-05-11			
		7	1999-05-12	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Brede Vandværk		1	1999-03-29	
	1999-03-30			
		2	1999-03-31	
		3	1999-04-06	
	1999-04-06			
	1999-04-13			
		4	1999-04-14	
		5	1999-04-22	
	1999-04-22			
		6	1999-04-22	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Græsted Vandværk		1	1999-02-15	
	1999-02-16			
		2	1999-02-16	
		3	1999-02-22	
	1999-02-23			
		4	1999-02-23	
		5	1999-03-08	
	1999-03-09			
		6	1999-03-09	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Alsønderup Vandværk		1	1999-02-09	
	1999-02-09			
		2	1999-02-11	
		3	1999-03-01	
	1999-03-01			
		4	1999-03-03	
		5	1999-03-25	
	1999-03-25			
		6	1999-03-25	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Nejede-Møllehøj Vandværk	1998-12-08			
		1	1998-12-15	
		2	1998-12-21	
	1998-12-21			
		3	1999-01-07	
	1999-01-07			
		4	1999-01-12	
		5	1999-01-21	
	1999-01-27			
		6	1999-01-28	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Hundested Vandværk	1998-12-17			
		1	1998-12-17	
		2	1998-12-22	
	1998-12-22			
		3	1998-12-23	
	1998-12-23			
	1998-12-29			
		4	1999-01-11	
	1999-01-12			
		5	1999-01-12	
		6	1999-01-20	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Haraldsborg Vandværk		1	1999-04-27	
		2	1999-05-11	
	1999-05-11			
		3	1999-05-11	
	1999-05-25			
		4	1999-06-09	
	1999-06-09			
		5	1999-06-09	
		6	1999-06-15	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Stigs-Bjergby Vandværk	1999-06-15			
		1	1999-06-16	
		2	1999-06-18	
	1999-06-19			
		3	1999-06-22	
	1999-06-22			
		4	1999-06-23	
		5	1999-06-28	
	1999-06-28			

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Kr. Eskilstrup Vandværk		1	1999-07-23	
	1999-07-25			
		2	1999-08-03	
	1999-08-08			
		3	1999-08-09	
	1999-08-23		4	1999-08-23
		5	1999-08-24	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Nr. Eskilstrup Vandværk		1	1999-07-09	
	1999-07-09			
		2	1999-07-12	
		3	1999-07-15	
	1999-07-15			
		4	1999-07-15	
		5	1999-07-22	
	1999-07-22			
		6	1999-07-23	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Blangslev Vandværk	2000-06-16			
		1	2000-06-20	
	2000-06-20			
		2	2000-06-20	
	2000-06-23			
		3	2000-06-26	
	2000-06-26			
		4	2000-06-26	
	2000-06-30			
	5	2000-04-07		
2000-04-07				
		6	2000-04-07	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Petersgaard Avlsgårds Vandværk.		1	1999-03-24	
	1999-03-25			
		2	1999-03-26	
		3	1999-04-07	
	1999-04-07			
		4	1999-04-07	
		5	1999-04-21	
	1999-04-21			
		6	1999-04-21	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Stensved Vandværk	2000-02-24			
		1	2000-02-24	
	2000-03-02			
		2	2000-03-09	
	2000-03-09			
		3	2000-03-09	
	2000-03-16			
		4	2000-03-23	
		5	2000-03-23	
		6	2000-03-30	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Gammelsø Vandværk	?			
		1	2000-04-11	
	2000-04-11			
		2	2000-04-11	
		3	2000-05-03	
	2000-05-03			
		4	2000-05-03	
		5	2000-05-15	
		6	2000-05-15	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Udby Vandværk	2000-09-27			
		1	2000-10-05	
	2000-10-05			
		2	2000-10-05	
		3	2000-10-17	
	2000-10-17			
		4	2000-10-17	
		5	2000-11-24	
		6	2000-11-24	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Udby-Rolund og Føns Vandværk		1	1999-11-25	
	1999-11-25			
		2	1999-11-25	
		3	1999-11-30	
	1999-11-30			
		4	1999-11-30	
		5	1999-12-02	
			1999-12-02	

		6	1999-12-02	
--	--	---	------------	--

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Lejbølle Vandværk, Rudkøbing		1	2000-04-13	
	2000-04-13			
		2	2000-04-13	
		3	2000-04-26	
	2000-04-26			
		4	2000-04-26	
		5	2000-05-04	
	2000-05-04			
		6	2000-05-04	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Kværndrup Vandværk	1999-09-26			
		1	1999-09-27	
		2	1999-10-03	
	1999-10-03			
		3	1999-10-04	
		4	1999-10-10	
	1999-10-10			
	5	1999-10-11		
	6	1999-10-17		
	1999-10-17			

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Lysabild Vandværk	1999-10-20			
		1	1999-10-20	
		2	1999-11-01	
	1999-11-01			
		3	1999-11-01	
		4	1999-11-11	
	1999-11-11			
		5	1999-11-11	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Oksbøl Vandværk	1999-08-31			
		1	1999-09-09	
	1999-09-12			
		2	1999-09-13	
		3	1999-09-16	
	1999-09-16			
		4	1999-09-17	
	1999-09-20			
		5	1999-09-21	
		6	1999-09-24	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Endrup Vandværk	2000-08-28			
		1	2000-08-30	
	2000-08-30			
		2	2000-08-30	
		3	2000-09-01	
	2000-09-01			
		4	2000-09-01	
		5	2000-09-04	
	2000-09-04			
		6	2000-09-04	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Strandhuse Vandværk	1999-11-15			
		1	1999-11-15	
		2	1999-11-16	
	1999-11-17			
		3	1999-11-17	
		4	1999-11-18	
	1999-11-19			
	1999-11-23			
	5	1999-11-24		
	6	1999-11-25		

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Ejstrupholm Vandværk	1999-08-17			
		1	1999-08-18	
		2	1999-08-19	
	1999-08-19			
		3	1999-08-20	
	1999-08-22			
		4	1999-08-23	
	1999-08-24			
	5	1999-08-25		
	1999-08-26			
		6	1999-08-26	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Aulum Vandværk		1	1999-12-15	
	1999-12-15			
		2	1999-12-15	
		3	1999-12-20	
	1999-12-20			
		4	1999-12-20	
		5	2000-01-10	
	2000-01-10			

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Stadil Vandværk		1	1999-12-02	
	1999-12-02			
		2	1999-12-02	
		3	1999-12-06	
	1999-12-06			
		4	1999-12-06	
		5	1999-12-09	
	1999-12-09			
		6	1999-12-09	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Hårby Vandværk		1	1999-10-06	
	1999-10-06			
		2	1999-10-07	
	1999-10-10			
		3	1999-10-11	
	1999-10-11			
		4	1999-10-12	
	1999-10-12			
	5	1999-10-13		
	1999-10-13			
		6	1999-10-14	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Auning Vandværk, Nordre		1	2000-01-31	
	2000-01-31			
		2	2000-01-31	
		3	2000-02-02	
	2000-02-02			
		4	2000-02-02	
		5	2000-02-07	
	2000-02-07			
		6	2000-02-07	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Lyngby Vandværk, Århus		1	2000-02-10	
	2000-02-10			
		2	2000-02-10	
		3	2000-02-14	
	2000-02-14			
		4	2000-02-14	
		5	2000-02-14	
	2000-02-16			
		6	2000-02-14	

Vandværk	Dato for skylning	Prøve nr.	Dato for prøvetagning	Bemærkninger
Ørslevkloster Vandværk	1999-09-22			
		1	1999-10-04	
	1999-10-20			
		2	1999-10-28	
		3	1999-11-03	
	1999-11-03			
		4	1999-11-04	
		5	1999-11-17	
	1999-11-17			
	6	1999-11-18		

Appendiks 4, findes kun i html-version

Beskrivelser af de enkelte vandværker samt tilhørende analyserapporter fra R. DONS' Vandanalytisk Laboratorium og udvalgte resultater af on-line målinger på vandværkerne