

Miljøprojekt Nr. 684 2002

Hygiejnisk kvalitet af spildevand fra offentlige renselanlæg

Kasper Mølgaard og Claus Nickelsen
COWI Rådgivende Ingeniører A/S

Jes la Cour Jansen

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
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
1 LITTERATURSTUDIET	19
1.1 OPBYGNING AF RENSEANLÆG, RENSENIVEAU OG MÅLERESULTATER	19
1.2 ANALYSEMETODER	20
1.3 SAMMENFATNING	20
2 SMITSTOFFER I SPILDEVAND	21
2.1 SPREDNING AF SMITSTOFFER MED SPILDEVAND	21
2.2 BESKRIVELSE AF UDVALGTE SMITSTOFFER (MIKROORGANISMER)	22
2.2.1 <i>Bakterier</i>	22
2.2.2 <i>Protozoer</i>	22
2.2.3 <i>Virus</i>	23
2.2.4 <i>Indikatorbakterier</i>	23
2.3 INFEKTIØS DOSIS	24
2.4 OVERLEVELSESTID	25
2.5 ARBEJDSMILJØPROBLEMER KNYTTET TIL SPILDEVAND	27
2.5.1 <i>Immunforsvar</i>	27
2.5.2 <i>Smitteveje</i>	27
2.6 REGISTREREDE SYGDOMSTILFÆLDE KNYTTET TIL VAND OG SPILDEVAND	28
2.6.1 <i>Arbejdsbetinget sygdom for spildevandsarbejdere</i>	29
2.6.2 <i>Våndbåren udbrud</i>	31
3 PRØVEUDTAGNING OG ANALYSERING	33
3.1 PRØVEUDTAGNING	33
3.2 ANALYSER	33
3.3 DISKUSSION AF REPRÆSENTATIVITET AF PRØVER	34
4 EGÅ OG MARSELISBORG RENSEANLÆG	35
4.1 ANLÆGSOPBYGNING	36
4.1.1 <i>Renseprocesser</i>	36
5 KLOAKOPLANDE	39
5.1 KILDER TIL SMITSTOFFER I VAND	39
5.1.1 <i>Fjerkærslagteri</i>	39
5.1.2 <i>Sygehuse</i>	39
5.2 BESKRIVELSE AF KLOAKOPLANDE TIL MARSELISBORG OG EGÅ RENSEANLÆG	40
5.2.1 <i>Marselisborg kloakopland</i>	40
5.2.2 <i>Egå kloakopland</i>	41
5.2.3 <i>Belastningsfordeling med hensyn til enkeltkilder</i>	41
6 HYGIENISK KVALITET AF URENSET SPILDEVAND	43

6.1	SPILDEVANDSMÆNGDE	43
6.2	FORTYNDING AF SMITSTOFFER	43
6.3	SMITSTOFFER I RÅSPILDEVAND	43
6.3.1	<i>Henfald i kloaksystem</i>	44
6.4	RESULTATER AF MÅLEPROGRAM OG LITTERATURSTUDIE	44
6.4.1	<i>Bakterier</i>	46
6.4.2	<i>Enterovirus</i>	46
6.5	EKSPONERINGSDOSIS FOR URENSET SPILDEVAND	47
6.5.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	47
7	HYGIEJNISK KVALITET AF RENSET SPILDEVAND	49
7.1.1	<i>Bakterier</i>	50
7.1.2	<i>Enterovirus</i>	51
7.1.3	<i>Protozoer</i>	51
7.2	EKSPONERINGSDOSIS FOR RENSET SPILDEVAND	51
7.2.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	52
8	FJERNELSE AF SMITSTOFFER I OFFENTLIGE RENSEANLÆG	53
8.1.1	<i>Bakterier</i>	55
8.1.2	<i>Enterovirus</i>	56
8.1.3	<i>Protozoer</i>	56
8.1.4	<i>Driftsforhold</i>	56
8.2	EFFEKT AF SANDFILTER PÅ EGÅ RENSEANLÆG	56
8.2.1	<i>Bakterier</i>	57
8.2.2	<i>Enterovirus</i>	57
8.2.3	<i>Protozoer</i>	57
8.2.4	<i>Driftsforhold</i>	58
8.3	INFEKTIONSDOSIS AF RENSET SANDFILTRERET SPILDEVAND	59
8.3.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	59
9	HYGIEJNISK KVALITET AF RECIPIENTER, GRUNDEVAND OG DRIKKEVAND	61
9.1	KRAV TIL BADEVANDSKVALITET	62
9.2	EGÅEN	63
10	REGNBETINGEDE UDLEDNINGER	65
10.1	SEPARAT SYSTEM	65
10.2	FÆLLESSYSTEM	65
10.3	OVERLØBSBYGVÆRKER	65
10.3.1	<i>Fortynding af smitstoffer</i>	66
10.3.2	<i>Regneeksempel</i>	66
11	KONKLUSION	69
11.1	HYGIEJNISK KVALITET AF SPILDEVAND	69
11.2	RENSEEFFEKTER FOR AKTIV SLAMANLÆG	70
11.3	SUNDHEDSMÆSSIG RISIKO	71
11.4	INFEKTIONSDOSIS AF SPILDEVAND	71
11.5	VIDERE ARBEJDE	72
12	LITTERATURLISTE	73
	Bilag A	77
	Bilag B	81

Forord

Miljøstyrelsen har igennem de seneste år iværksat en række aktiviteter for at afdække den vandbårne mikrobielle belastning af vores omgivelser. Dette projekt er igangsat for at få mere viden om den spildevandsbetingede mikrobielle belastning af miljøet, og om de kommunale renseanlægs evne til at reducere belastningen.

Det er projektets formål:

- at opdatere videngrundlaget for perioden 1995-2000 på basis af resultatet af et undersøgelsesprogram og et litteraturstudie.
- at beskrive den hygiejniske kvalitet af urensset og rensset spildevand.
- at bestemme rensegrad i kommunale renseanlæg for forskellige mikroorganismer.
- at bidrage til at danne grundlag for fremtidig vurdering af om udledning af spildevand fra renseanlæg og regnvandsbetingede overløb udgør en sundhedsmæssig risiko for de badende.
- at danne grundlag for fremtidig risikovurdering ved anvendelse af alternative spildevandsløsninger og renseteknologier.
- at identificere betydende kilder/producenter til mikrobiologisk belastning af spildevandet.

Som et led i arbejdet er der gennemført et måleprogram på Egå Renseanlæg og Marselisborg Renseanlæg. Beskrivelsen af måleprogrammet findes i bilag A og analyseresultaterne fremgår af bilag B.

Arbejdet er udført af en arbejdsgruppe bestående af:

Kasper Mølgaard	COWI Rådgivende Ingeniører AS
Claus Nickelsen	COWI Rådgivende Ingeniører AS
Jes Clauson-Kaas	COWI Rådgivende Ingeniører AS
Jes la Cour Jansen	Firmaet Jes la Cour Jansen

under ledelse af en styregruppe bestående af:

Eva Charlotte Vestergaard	Miljøstyrelsen (formand)
Claus Nickelsen	COWI (sekretær)
Linda Bagge	Miljøstyrelsen
Lene Madsen	Miljøstyrelsen
Jørn Andersen	Århus Kommune
Jes la Cour Jansen	Firmaet Jes la Cour Jansen

Sammenfatning og konklusioner

Nærværende rapport er et resultat af et litteraturstudie og et undersøgelsesprogram vedrørende den hygiejniske kvalitet af spildevand. Rapporten er en opdatering af vidensgrundlaget for perioden 1995-2000 vedrørende den vandbårne mikrobielle belastning af vandmiljøet.

Rapporten beskriver forekomsten af udvalgte mikroorganismer i urensset og rensset spildevand samt rensseffekter for de undersøgte mikroorganismer i kommunale renselanlæg. Resultaterne skal bidrage til en identificering af de betydende kilder til mikrobiel belastning af spildevandet.

Rapporten indeholder en redegørelse for omfanget af litteraturstudiet og de problemstillinger, som litteraturen har givet anledning til, i forhold til anvendelsen af oplysninger og data i dette projekt.

Spredningen af smitstoffer med spildevand og hvilke problemer dette har givet anledning til er beskrevet sammen med en opgørelse af sygdomstilfældene, som er knyttet til spildevand og drikkevand. Endvidere er der foretaget en kort beskrivelse af de undersøgte mikroorganismer, herunder beskrivelse af infektiøse doser og overlevelsessevne i vandmiljøet.

Der er valgt at arbejde med bakterierne total coliforme bakterier, *E. coli*, fækale enterokokker, *Campylobacter* og *Salmonella* samt protozoerne *Cryptosporidium parvum* og *Giardia intestinalis* og virusstypen enterovirus for at vurdere de sundhedsmæssige risici i forbindelse med spildevand. Disse mikroorganismer er valgt ud fra følgende kriterier: 1) Lav infektiøs dosis, 2) Stor udskillelse fra mennesker og dyr og derfor forventet stort antal i spildevandet og 3) Smitte via vand. Specielt er *Salmonella* og *Campylobacter* valgt, da de regnes for at være de væsentligste årsager til diarré hos mennesker.

Oplandene til de to undersøgte renselanlæg (Egå og Marselisborg) er beskrevet og de betydende kilder til smitstoffer i spildevand er identificeret teoretisk. I begge oplande findes sygehuse, levnedsmiddelvirksomheder og turistindustri, hvilke må anses for at være de mest betydende producenter af smitstoffer til spildevandet. På sygehuse, som repræsenterer en markant smitekilde, er der i dag kun sjældent forebyggende eller afværgende foranstaltninger i forbindelse med spildevandet. Der er så vidt vides ingen offentlig regulering af virksomheder og institutioner i form af krav til indholdet af smitstoffer, svarende til den regulering der anvendes med hensyn til indholdet af f.eks. næringsstoffer, miljøfremmede stoffer og tungmetaller.

På baggrund af litteraturstudiet er det fundet at både vandforbruget og spildevandsproduktionen pr. person er faldet med ca. 25% fra 1990 til 1999. Indholdet af smitstoffer i urensset spildevand er afhængig af flere faktorer, som den epidemiologiske situation i området, årstiden og tilførsel af bl.a. sygehusspildevand, slagterispildevand m.v.

Der er anført et simpelt teoretisk regneeksempel for udskillelsen af mikroorganismer med afføringen fra en rask person. En rask person vil

udskille i størrelsesordenen 10^4 - 10^7 bakterier pr. liter, 10^5 virus pr. liter og 10^3 - 10^4 protozoer pr. liter råspildevand. En inficeret person vil udskille et større antal smitstoffer. Der vil ske et vist henfald gennem kloaksystemet inden indløbet til renseanlæggene. Omfanget af henfaldet af smitstoffer gennem kloaksystem er dog ukendt.

Nedenstående tabel viser resultaterne af det udførte måleprogram. De viste værdier er det gennemsnitlige indhold i det urensede spildevand.

Mikroorganismer	Urenset spildevand, antal/100 ml
Bakterier:	
Total coliforme bakterier	$8,6 \cdot 10^7$
<i>E. coli</i>	$2,6 \cdot 10^7$
Fæk. enterokokker	$9,3 \cdot 10^5$
<i>Salmonella</i>	100-1.000
<i>Campylobacter</i>	1.000

Der er endvidere påvist enterovirus i 8 ud af i alt 12 prøver. Der er ikke analyseret for protozoer, da den anvendte metode ikke kunne bruges til urensede spildevand.

Generelt svarer de målte niveauer af smitstoffer i indløbet for Egå Renseanlæg og Marselisborg Renseanlæg til niveauerne angivet i litteraturen for udenlandske renseanlæg. Antallet af mikroorganismer i urensede spildevand fra Egå og Marselisborg Renseanlæg vurderes umiddelbart at være i den høje ende i forhold til andre danske anlæg, fordi der findes både sygehuse, slagterier og lignende i kloakoplandet.

Der er foretaget en simpel vurdering af eksponeringsdosen for urensede spildevand, rensede spildevand og sandfiltreret spildevand, dvs. den spildevandsmængde som potentielt skal optages for at forårsage sygdom. Den grove estimering kan ikke bruges som en risikovurdering. Eksponeringsdosen er estimeret ud fra den teoretiske infektiøse dosis og det her målte indhold af mikroorganismer i spildevandet. Det er i vurderingen forudsat, at alle de betydende faktorer, som skal kombineres for at blive syg, er opfyldt. De interessante mikroorganismer er således vurderet overordnet. Der skal teoretisk set kun få milliliter til 5 milliliter af urensede spildevand til for at medføre sygdom. Alle de her undersøgte mikroorganismer, dvs. *Salmonella* og *Campylobacter*, er som forventet interessante i sundhedsmæssig sammenhæng.

Resultaterne af undersøgelsesprogrammet og litteraturstudiet med hensyn til den hygiejniske kvalitet af rensede spildevand er præsenteret. Nedenstående tabel angiver resultaterne for målingerne på de to undersøgte renseanlæg. Resultaterne er gennemsnitlige værdier.

Mikroorganismer	Før filter (afløb fra alm. renseanlæg), antal/100 ml
Bakterier:	
Totale coliforme bakterier	$4,5 \cdot 10^5$
<i>E. coli</i>	$9,2 \cdot 10^4$
Fæk. enterokokker	$1,1 \cdot 10^4$
<i>Salmonella</i>	10
<i>Campylobacter</i>	100
Protozoer:	
<i>Giardia intestinalis</i>	1,4
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0,3

Generelt svarer de målte niveauer af smitstoffer i afløbet af Egå Renseanlæg (før filteret) og Marselisborg Renseanlæg til afløbsniveauer angivet i litteraturen (både danske og udenlandske renselanlæg). Enterovirus er ikke påvist i afløbet fra de to undersøgte renselanlæg, men litteraturen angiver, at enterovirus kan gå gennem renselanlæg og udledes til recipienten. Antallet af cryptosporidier i det rensede spildevand fra Egå Renseanlæg synes at være i den høje ende af niveauer angivet i litteraturen. En sammenligning af indholdet af *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* i det rensede spildevand fra renselanlæggene indikerer, at der er en underrapportering af human giardiose i området, idet der er en signifikant højere påvisning af *Giardia* end cryptosporidier. Det kan hænge sammen med, at *Giardia* ikke er anmeldeligt.

Der blev med henblik på vurdering af evt. tilstedeværelse af viable cryptosporidieocyster gennemført en viabilitetstest på flere prøver udtaget før filteret på Egå Renseanlæg. Der fandtes viable oocyster i alle prøver. Fundet af viable cryptosporidieocyster betyder, at de vil være infektionsdygtige og dermed udgøre en potentiel smitterisiko ved spredning i miljøet.

Den simple vurdering af eksponeringsdosen for spildevand for identifikation af de interessante mikroorganismer i smittesammenhæng viser, at der teoretisk set kun skal indtages ca. 5 milliliter rensed spildevand for at forårsage sygdom. De problematiske mikroorganismer i rensed spildevand mht. sundhedsmæssig risiko er som forventet *Salmonella* og *Campylobacter*. Derudover er *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* vurderet interessante, da disse har lave infektiøse doser, på trods af at eksponeringsdosen varierer fra 1,2 til 3,3 liter.

Renseeffekterne for de undersøgte mikroorganismer i de to renselanlæg og renseeffekten for sandfilteret på Egå Renseanlæg er opgjort og resultaterne fra litteraturstudiet er angivet. En kombination af eksponering af sollys, sedimentering og filtrering forventes at reducere antallet af bakterier og virus i stor grad. Protozoer vil derimod sedimentere langsommere, og vil ofte genfindes i det rensede spildevand.

Undersøgelsen har som forventet vist, at fjernelsen af bakterier og virus følger fjernelsen af organisk stof og suspenderet stof. Der er endvidere fundet sammenhæng mellem fjernelsen af bakterier og opholdstiden i efterklaringstanke, idet lavere opholdstid som følge af betydelig nedbør medfører dårligere rensesgrader for både bakterier og traditionelle spildevandsparametre.

Af nedenstående tabel fremgår de gennemsnitlige renses effekter på Egå og Marselisborg Renseanlæg. Der bemærkes, at de store renses grader ikke er ensbetydende med, at der ikke findes smitstoffer i udløbsvandet.

Mikroorganismer	MBNKD, %	MBNKDF, %	Over sandfilter (Egå Renseanlæg), %
Bakterier:			
Totale coliforme bakterier	99,60	99,88	82,8
<i>E. coli</i>	99,30	99,80	82,2
Fæk. enterokokker	97,80	99,90	72,5
<i>Salmonella</i>	1.000 gange reduktion (~99,9%)	10.000 gange reduktion (~99,99%)	10 gange reduktion (~90%)
<i>Campylobacter</i>	10.000 gange reduktion (~99,99%)	Til detektionsgrænsen	Til detektionsgrænsen
Virus:			
Enterovirus	Til detektionsgrænsen	-	-
Protozoer:			
<i>Giardia intestinalis</i>	-	-	91,4
<i>Cryptosporidium parvum</i>	-	-	63,1

Renseeffekten for bakterier og virus i renselanlæg med MBNKD-opbygning er stor (varierende mellem 99,6-99,9% for bakterierne), og med indsættelse af sandfilter til MBNKDF-opbygning forøges reduktionen (varierende mellem 99,8-99,99% for bakterier). Litteraturen angiver renses grader for enterovirus varierende mellem 30-99,5% i aktiv slam anlæg. Litteraturen angiver renses grader i aktiv slam anlæg mellem 83-99,3% for *Giardia intestinalis* og 90,7-96,8% for *Cryptosporidium parvum*.

Effekten af sandfilteret på Egå Renseanlæg er mindre overfor *Cryptosporidium parvum* end overfor *Giardia intestinalis*, hvilket kan hænge sammen med, at *Giardia* cysterne er større end cryptosporidieocysterne og derfor tilbageholdes bedre i sandfilteret.

Forekomsten af mikroorganismer i rensed sandfiltreret spildevand målt i nærværende måleprogram fremgår af nedenstående tabel. Resultaterne er gennemsnitlige værdier.

Mikroorganismer	Efter filter (Egå), antal/100 ml
Bakterier:	
Totale coliforme bakterier	2,0·10 ⁴
<i>E. coli</i>	7,0·10 ³
Fæk. enterokokker	330
<i>Salmonella</i>	< 1
<i>Campylobacter</i>	i.p.
Virus:	
Enterovirus	i.p.
Protozoer:	
<i>Giardia intestinalis</i>	0,1
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0,12

Enterovirus er ikke påvist efter sandfilteret på Egå Renseanlæg. Det bemærkes, at der er målt 10-100 *Campylobacter* pr. 100 ml i det rensede og sandfiltrerede spildevand fra Egå Renseanlæg.

Der har været udført test for tilstedeværelse af viable cryptosporidier i prøverne fra undersøgelserne over sandfilteret. Den gennemsnitlige procent af hhv. døde og viable occyter af det totale antal påviste oocyster var hhv. 35% og 18% for prøver udtaget før filteret. Den gennemsnitlige procent af hhv. døde og viable occyter af det totale antal påviste oocyster var hhv. 41% og 4% for prøver udtaget efter filteret. De viable cryptosporidier vil således være infektionsdygtige og kan dermed udgøre en vis smitterisiko ved spredning i miljøet.

Den simple vurdering af de interessante mikroorganismer viser, at der kun skal optages ca. 0,5 liter rensed sandfiltreret spildevand indeholdende *Campylobacter* for at medføre sygdom.

Resultaterne af litteraturstudiet angående indholdet af mikroorganismer i recipienter, grundvand og drikkevand er præsenteret. Der er i dette projekt ikke foretaget undersøgelser af recipienter. Det har ikke været muligt at sortere resultaterne fra litteraturstudiet, således at baggrundsniveauer i forskellige recipienttyper kan opstilles. Flere af resultaterne stammer fra overfladevand, som er belastet af urensed og rensed spildevand, kvægbrug og vildt population og som samtidig anvendes til rekreative formål og indvinding af drikkevand.

Ved udløbet af Egåen, som er recipient for Egå Renseanlæg, er der i øjeblikket badeforbud. Århus Kommune vurderer, at overløbsbygværkerne ved Egåen er årsag til at badevandskravene ikke kan overholdes.

Regnbetingede udledninger er beskrevet og det er vurderet, hvorvidt disse kan medføre en sundhedsmæssig risiko for badende. Der vil være forskel i smitstofudledningen fra overløbsbygværker over nedbørsperioden, hvor koncentrationen vil være størst i den første del af afstrømningen, da sammensætningen vil være påvirket af afskyllingen fra befæstede overflader samt afrivning og suspension af biofilm i kloakrør.

Litteraturen giver indikationer af, at der sker en forøgelse af indholdet af smitstoffer, både bakterier og protozoer, i recipienter under regnhændelser pga. udledninger fra overløbsbygværker. Det vurderes, at regnbetingede udledninger kan udgøre en sundhedsmæssig risiko i forbindelse med badevand, idet spildevandet på trods af fortynding vil indeholde en væsentlig koncentration af sygdomsfremkaldende mikroorganismer.

På basis af nærværende litteraturstudie og det udførte undersøgelsesprogram vurderes det, at spildevand udledt fra aktiv slamanlæg både med og uden sandfiltrering til vandmiljøet kan udgøre en smitterisiko. Indsættelse af et sandfilter vurderes at kunne medvirke til en reduktion af udledningen af sygdomsfremkaldende mikroorganismer fra renseanlæg. Det vurderes endvidere, at regnbetingede udløb kan udgøre en sundhedsmæssig risiko for badende.

Det foreslås, at der arbejdes videre med:

- yderligere vurderinger af om udledning af spildevand fra renseanlæg og regnbetingede overløb udgør en sundhedsmæssig risiko for badende
- vurdering af de eksisterende teknologier til videregående behandling af spildevand
- vurdering af risikoen ved anvendelse af alternative spildevandsløsninger og renseteknologier.

Det foreslås derudover, at der overvejes at udvikle redskaber til karakterisering af særlige kilder til smitstofbelastning af spildevandet, herunder også at der overvejes at udforme særlige retningslinier for tilslutningstilladelser til offentlig kloak for særlige spildevandstyper og retningslinier for udledningstilladelser for renseanlæg. Det foreslås endvidere at arbejde videre med vurdering af risikoen for spildevandsbetinget smitte af spildevandsarbejdere ved drift og vedligeholdelse af afløbs- og renseanlæg.

Summary and conclusions

The present report summarises the result of a literature study and a monitoring programme concerning the hygienic quality of wastewater. The report is an update of the knowledge base for the period 1995-2000 concerning the waterborne microbial contamination of the aquatic environment.

The report describes the incidence of selected microorganisms in raw and treated wastewater and the treatment efficiencies for the microorganisms in public wastewater treatment plants (WWTP). The results contribute to identifying the significant sources of microbial contamination of the wastewater.

The report presents the scope of the literature study and the problems caused by the literature, in relation to the application of information and data in this project.

Spreading of pathogens in wastewater and the problems resulting from such spreading are described together with records of the sickness cases related to wastewater and drinking water. Furthermore, a brief description is given of the selected microorganisms, including a description of infectious dose and survival in the aquatic environment.

In the study, the focus is on the bacteria total coliforms, *E. coli*, faecal enterococcus, *Campylobacter* and *Salmonella*, the protozoa *Cryptosporidium parvum* and *Giardia intestinalis*, and the virus type enterovirus, in order to assess the health risks related to wastewater. The microorganisms are selected on the basis of the following criteria: 1) Low infectious dose, 2) Large excretion from humans and animals and therefore anticipated in large numbers in the wastewater and 3) Contagious through water. *Salmonella* and *Campylobacter* are primarily selected because they are considered to be most significant causes of diarrhoea among humans in Denmark.

The sewer areas for the two investigated wastewater treatment plants (Egå and Marselisborg) are described, and the significant sources of pathogens in wastewater are identified theoretically. Both sewer areas contain hospitals, food producing industries and tourist industries, all considered to be important pathogenic sources to contamination of the wastewater. Today preventive and protective measures related to the wastewater are rarely taken in hospitals, which represent a significant source of infectious microorganisms. According to current knowledge, authority regulation of the industries and institutions in the form of requirements to the content of pathogens do not exist, as it is known for example with nutrients, synthetic substances and heavy metals.

Based on the literature study it is found that both the water consumption and the wastewater production per person have decreased by approximately 25 percent from 1990 to 1999. The content of pathogens in raw wastewater depends on several factors, such as the epidemical situation in the area, the

season and the discharge of wastewater from hospitals and slaughterhouses etc.

A simple theoretical arithmetical example is given of the excretion of microorganisms from one healthy person. A healthy person will excrete approximately 10^4 - 10^7 bacteria per litre, 10^5 viruses per litre and 10^3 - 10^4 protozoa per litre raw wastewater. An infected person will excrete a larger number of pathogens. The pathogens will be reduced (die-off) through the sewer system to the inlet of the wastewater treatment plant. The magnitude of the reduction in the sewer system is, however, unknown.

The table below shows the results of the monitoring programme. The numbers indicate the average content in the untreated wastewater.

Microorganisms	Untreated wastewater, number/100 ml
Bacteria:	
Total coliforms	$8.6 \cdot 10^7$
<i>E. coli</i>	$2.6 \cdot 10^7$
Faecal enterococcus	$9.3 \cdot 10^5$
<i>Salmonella</i>	100-1,000
<i>Campylobacter</i>	1,000

Enterovirus was also found in 8 of a total of 12 samples. The untreated wastewater is not analysed for protozoa, because the method used in this project was not applicable to untreated wastewater.

The measured levels of pathogens in the inlet of Egå and Marselisborg WWTP correspond generally to the levels given in the studied literature for foreign WWTP's. The occurrence of microorganisms in untreated wastewater from Egå and Marselisborg WWTP is immediately assessed to be rather high compared to other Danish public WWTP due to the fact that the sewer areas accommodate both hospitals, slaughterhouses etc.

A simple assessment of the exposure dose for untreated wastewater, treated wastewater and filtered wastewater is given. The exposure dose corresponds to the quantity of wastewater, which must be consumed in order to be likely to cause disease. The rough estimation can not be used as a real risk assessment. The rough estimation of the exposure dose is based on the theoretical infectious dose and the measured content of microorganisms in the wastewater. It is assumed that all the significant factors, which have to be combined to cause disease, is fulfilled. The interesting microorganisms are, thus, assessed on an overall basis. Theoretically, the quantity of untreated wastewater needed to cause disease varies from a few millilitres to 5 millilitres. All the microorganisms studied, i.e. *Salmonella* and *Campylobacter*, are as could be expected, interesting in relation to human health risk.

The results of the monitoring programme and the literature study regarding the hygienic quality of treated wastewater are presented. The table below shows the results as average values from the monitoring programme at the two WWTP's.

Microorganisms	Before filter (outlet from ordinary WWTP), number/100 ml
Bacteria:	
Total coliforms	4.5·10 ⁵
<i>E. coli</i>	9.2·10 ⁴
Faecal enterococcus	1.1·10 ⁴
<i>Salmonella</i>	10
<i>Campylobacter</i>	100
Protozoa:	
<i>Giardia intestinalis</i>	1.4
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0.3

The measured levels of pathogens in the outlet of Egå (before filter) and Marselisborg WWTP correspond generally to the levels given the studied literature for foreign and Danish WWTP's. Enterovirus is not detected in the outlet from the two WWTP's, but the literature shows that enterovirus can pass through treatment plants and be discharged to the recipient. The occurrence of *Cryptosporidium parvum* in the treated wastewater from Egå WWTP is regarded to be in the high range of the levels given in the literature. The occurrence of *Giardia intestinalis* and *Cryptosporidium parvum* in the treated wastewater indicates that reporting of human giardiasis in the sewer areas has been too low, as the number of detected *Giardia intestinalis* was significantly larger than detected *Cryptosporidium parvum*. This may be due to the fact that *Giardia* does not fall under the duty to report.

To assess the presence of viable *Cryptosporidium* oocysts, a viability test was carried out on several samples taken before the sand filter at Egå WWTP. All the samples contained viable oocysts, which indicates that they will be infectious and, thus, can be a potential health risk if spread in the nature.

The simple assessment of the exposure dose for wastewater for identification of the microorganisms relevant to health risks shows that the theoretical exposure dose needed to cause disease is approx. 5 millilitres treated wastewater. As expected, the microorganisms in treated wastewater that are relevant to health risks are *Salmonella* and *Campylobacter*. Furthermore, *Giardia intestinalis* and *Cryptosporidium parvum* are interesting as they have low infectious doses, even though the exposure doses are approx. 1.2 to 3.3 litres.

The reduction efficiencies for the chosen microorganisms in the two WWTP's and the efficiency of the sand filter at Egå WWTP are determined. The results from the literature study are presented. A combination of exposure to sunlight, sedimentation and filtration is expected to largely reduce the occurrence of bacteria and viruses. The protozoa, however, will sediment more slowly and will often reoccur in the treated wastewater.

As expected, the results of the monitoring programme show that the removal of bacteria and viruses follows the removal of organic matter and suspended matter. Furthermore, the results show that the removal of bacteria depends on the retention time in the clarifier, as a low retention time caused by heavy rainfall results in poorer reduction efficiencies for both bacteria and the traditional wastewater components.

The table below shows the average reduction efficiencies at Egå and Marselisborg WWTP. It should be noted that the high efficiencies do not imply that pathogens cannot be found in the treated wastewater.

Microorganisms	MBNKD, percent	MBNKDF, percent	Over sand filter (Egå WWTP), percent
Bacteria's: Total coliforms	99.60	99.88	82.8
<i>E. coli</i>	99.30	99.80	82.2
Faecal enterococcus	97.80	99.90	72.5
<i>Salmonella</i>	1.000 times reduction (~99.9%)	10.000 times reduction (~99.99%)	10 times reduction (~90%)
<i>Campylobacter</i>	10.000 times reduction (~99.99%)	To detection limit	To detection limit
Virus: Enterovirus	To detection limit	-	-
Protozoa's: <i>Giardia intestinalis</i>	-	-	91,4
<i>Cryptosporidium parvum</i>	-	-	63,1

The reduction efficiencies for bacteria and viruses in MBNKD-plants are big (varies between 99.6-99.9 percent for the bacteria), and with installation of a sand filter (MBNKDF-plant) the reduction is improved (varies between 99.8-99.99 percent for bacteria). The literature states efficiencies for enterovirus varying between 30-99.5 percent in an activated sludge plant. The literature states efficiencies in activated sludge plants between 83-99.3 percent for *Giardia intestinalis* and 90.7-96.8 percent for *Cryptosporidium parvum*.

The sand filter at Egå WWTP has a lower reduction effect towards *Cryptosporidium parvum* than *Giardia intestinalis*. This can be related to the fact that the size of the *Giardia* cysts is larger than the *Cryptosporidium* oocysts and therefore can be retained better in the sand filter.

The occurrence of microorganisms in treated sandfiltered wastewater measured in the present monitoring programme is presented in the table below, as average values.

Microorganisms	After sand filter (Egå), number/100 ml
Bacteria: Total coliforms	2.0·10 ⁴
<i>E. coli</i>	7.0·10 ³
Faecal enterococcus	330
<i>Salmonella</i>	< 1
<i>Campylobacter</i>	i.p.
Virus: Enterovirus	i.p.
Protozoa: <i>Giardia intestinalis</i>	0.1
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0.12

Enterovirus is not detected after the sand filter at Egå WWTP. It should be noted that levels of 10-100 *Campylobacter* per 100 ml treated and sandfiltered wastewater were found.

The presence of viable *Cryptosporidium* oocysts was investigated on the samples taken before and after the sand filter at Egå WWTP. The average percentage of dead and viable oocysts of the total number of detected oocysts respectively was 35 percent and 18 percent for samples taken before the filter. The average percentage of dead and viable oocysts of the total number of detected oocysts respectively was 41 percent, and 4 percent for samples taken after the filter. The viable oocysts will be infectious and thus be a potential health risk, if spread in the nature.

The simple assessment of the exposure dose of wastewater for identification of the interesting microorganisms in health risk relations shows that the theoretical exposure dose needed to cause disease by *Campylobacter* is approximately 0.5 litres of treated sandfiltered wastewater.

The results of the literature study regarding to the occurrence of the microorganisms in recipients, groundwater and drinking water are presented. The occurrence of microorganisms in the recipients has not been monitored in this project. It has not been possible to sort out the results from the literature study into background levels for the different recipient types. Several of the results were found in surface water, which is contaminated with raw, untreated wastewater, treated wastewater, livestock and stock of game, and, at the same time, is used for recreational purposes and surface water abstraction for drinking water purposes.

At the moment bathing is not allowed at the outfall of the Egå, which is recipient of Egå WWTP. The Municipality of Århus assesses that the combined sewer overflows at the Egåen are the main cause for not being able to meet the bathing water requirements.

The combined sewer overflows are described, and it is assessed whether they represent a risk to the health of the bathers. The content of the pathogens in the overflow water varies during the rainfall period. The content will be biggest in the first flush, because the composition is affected by the runoff from paved surfaces and tearing off and suspension of biofilm in the sewer system.

The literature indicates that the content of pathogens in recipients, both bacteria's and protozoa's, is increasing during rainfall due to discharges from combined sewer overflow. It is concluded that rainfall related discharges constitute a health risk for the bathers even though the wastewater will be diluted. The occurrence of microorganisms in the wastewater will still be high after the dilution.

On the basis on the literature study and the monitoring programme it is assessed that wastewater discharged from activated sludge plants with or without filtration to aquatic environment may constitute a health risk. Installation of a sand filter is assessed to contribute to a further reduction of the discharge of pathogens from wastewater treatment plants. Furthermore it is assessed that rainfall related discharges (combined sewer outflows) may constitute a risk to the health of bathers.

It is suggested that further investigations involve:

- further assessments concerning the health risks for the bathers due to discharge of wastewater from WWTP and combined sewer outflows
- assessments of the existing technologies for advanced treatment of wastewater
- assessments of the risks of using alternative wastewater treatments and treatment technologies.

Further, it is proposed that it is considered to develop tools for characterising significant sources of microbial contamination of wastewater, and, thus, guidelines for issuing permits of connection to public sewer for special types of wastewater, and guidelines for discharge approvals for WWTP's. It is furthermore proposed to further investigate the health risk of wastewater related infections of wastewater workers during operation and maintenance of sewer systems and wastewater treatment plants.

1 Litteraturstudiet

I dette projekt er foretaget et litteraturstudie for perioden 1995-2000. Søgningen og studiet har primært været fokuseret på litteratur omhandlende de mikroorganismer, som undersøges i dette projekt, men også i mindre grad mere generel litteratur.

De studerede artikler, rapporter, bøger m.v. som er lagt til grund for de præsenterede resultater, har dog haft en række problemstillinger i forhold til anvendelsen i nærværende projekt. Det drejer sig specielt om litteraturens håndtering og manglende detaljeringsgrad af renseanlægs opbygning og renseniveau, analysemetoder og måleresultater. Er det f.eks. problemanlæg m.v. som har været undersøgt, eller er der tale om en måling af indholdet af mikroorganismer i spildevandet, vandløbet m.v. i en udbrudssituation eller er det for eksempel en afprøvning af nye analysemetoder for specifikke mikroorganismer.

1.1 Opbygning af renseanlæg, renseniveau og måleresultater

Med hensyn til opbygning af renseanlæg er litteraturen ikke særlig specifik, og det har været vanskeligt at indhente yderligere oplysninger vedrørende procesopbygning, renseniveau og belastning, om overhovedet muligt. Der er derfor forudsat på baggrund af EU-direktivet for rensning af spildevand på større renseanlæg, at de europæiske renseanlæg fjerner næringsstoffer og organisk stof til et niveau, der er sammenlignelig med danske krav. Fjernelsen af sygdomsfremkaldende mikroorganismer følger generelt fjernelsen af organiske stoffer og næringsstoffer i renseanlæg, hvilket medfører, at det er forholdsvis acceptabelt at sammenholde måleresultaterne fra litteraturen og de undersøgte to renseanlæg angående indhold af mikroorganismer i spildevand og renses effekter.

Manglen på detaljering i litteraturen skyldes i nogle tilfælde, at undersøgelsens formål har været med mikrobiologisk formål, med fokus på f.eks. omdannelse af gener og rotation m.v. i de specifikke mikroorganismer. Noget litteratur har omhandlet udvikling af metoder til påvisning af specifik mikroorganisme, hvori der er angivet indhold af mikroorganismer i spildevand, vandløb, søer eller hav.

Andre undersøgelser i litteraturen har dog haft til formål at bestemme niveauer af mikroorganismer i urensset og rensset spildevand samt renseseffekt, men har i den sammenhæng desværre ikke været detaljeret med oplysninger vedrørende de undersøgte renseanlæg.

Atter andet litteratur har været opsamlingsartikler og rapporter, som har sammenfattet resultater for generelle renses effekter og indhold i diverse vandtyper. Det er ved disse, hvor det har været relevant, været forsøgt at finde frem til førstehåndsreferencerne.

1.2 Analysemetoder

Sammenligning af analyseresultater kan principielt kun foretages, hvis der er anvendt samme analysemetode, idet de mikrobiologiske parametre er metodeafhængige. Desuden er prøverne for mikroorganismer stikprøver og angiver derfor kun øjebliksbilleder. Sammenligning af resultaterne skal derfor foretages med varsomhed, og resultaterne kan kun sammenstilles som størrelsesordner. I Danmark anvender alle akkrediterede laboratorier samme analysemetoder for mikroorganismene.

1.3 Sammenfatning

Der er foretaget en afvejning af hvilke resultater fra litteraturen, som det har været acceptabelt at sammenligne med resultaterne fra nærværende undersøgelse. Resultaterne af litteraturstudiet er præsenteret i de følgende kapitler til sammenligning med de udførte målinger.

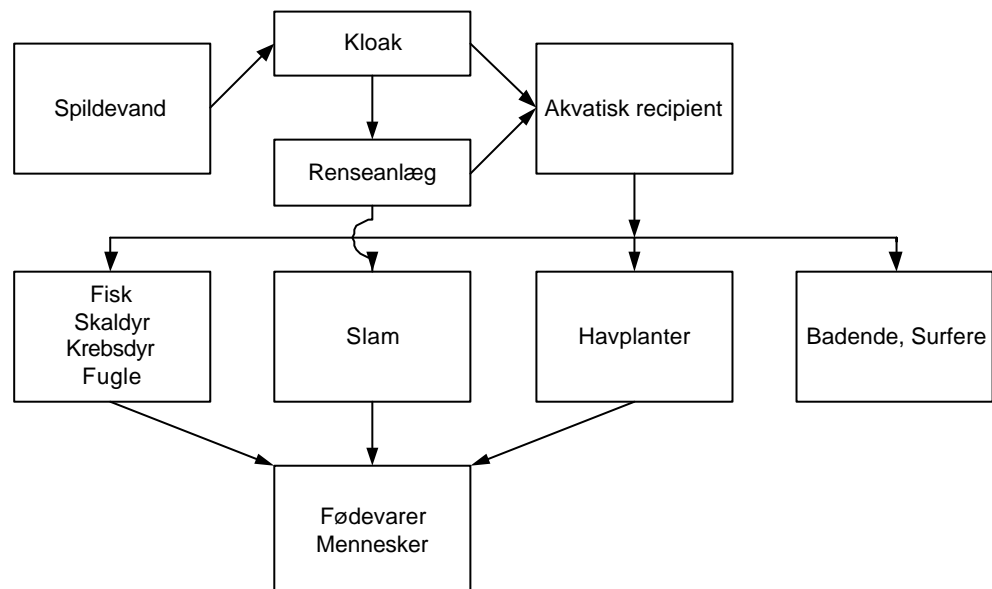
2 Smitstoffer i spildevand

Miljøstyrelsen har påbegyndt undersøgelser af forekomst og effekt af smitstoffers udledning til vandmiljøet. Herunder indgår undersøgelser af smitstoffers effekt på mennesker og det omgivende miljø i relation til spildevandshåndteringen på renseanlæg.

I det følgende er beskrevet en række af disse smitstoffer og der er søgt at give et aktuelt overblik over deres forekomst i spildevand og den smitterisici der er forbundet hermed.

2.1 Spredning af smitstoffer med spildevand

Med spildevand kan der afhængig af håndterings- og behandlingsform ske en forurening af det ydre miljø og tilførsel af smitstoffer i de akvatiske og terrestriske fødekæder. Dette er illustreret i figur 2.1.



Figur 2.1 Akvatisk infektionskæde initieret af spildevand fra byområder. Efter (Nickelsen og Kristensen, 1991).

Udledning af spildevand kan forårsage en forurening af vandmiljøet med smitstoffer og dermed medføre en sundhedsmæssig risiko for mennesker ved badning og en forurening af fødevarer. Badende, fiskere og surfere kan blive eksponeret for både urensset og rensset spildevand, som udledes til badeområder og rekreative områder. Ophold ved og i disse vandområder kan udgøre en sundhedsmæssig risiko, da spildevandet, på trods af rensning, indeholder en lang række mikroorganismer som i større eller mindre grad vil kunne medføre sygdom.

Risikoen afhænger af styrken af hygiejnebarriererne i forhold til spildevand, dvs. opbygningen af afløbssystemet, driften af systemet, opbygningen og driften af renseanlægget samt recipienten. Hygiejnebarrierer omfatter både arbejdsprocedurer, handlings- og adfærdsformer og fysiske forhold. Der er flere barrierer end de anførte i figur 2.1.

Med hensyn til spildevandsslam er der flere hygiejnebarrierer, f.eks. i forbindelse med vedligeholdelse og rengøring af slambehandlingsudstyr på renselanlæggene og ved udspreddning af slam på landbrugsjord. I forbindelse med håndtering af mekanisk affald efter forrensning på renselanlæg, såsom sand og fedt, er der i selve de tekniske tiltag og arbejdsprocedurer en række hygiejnebarrierer.

2.2 Beskrivelse af udvalgte smitstoffer (mikroorganismer)

Der gives en kortfattet beskrivelse af de udvalgte mikroorganismer, som er undersøgt i dette projekt. Der bør dog bemærkes, at der findes en lang række af andre sygdomsfremkaldende mikroorganismer, som kan forekomme i spildevand.

Udvælgelsen af smitstofferne er sket med følgende begrundelser: Generelt har mikroorganismer med en lav infektionsdosis, og som forventes udskilt i stor mængde fra mennesker og dyr, interesse i forbindelse med en vurdering af de sundhedsmæssige risici. Interessante mikroorganismer er endvidere mikroorganismer, som kan smitte gennem vand. Specielt er *Campylobacter* og *Salmonella* valgt på grund af, at de regnes for at være de væsentligste årsager til diarré hos mennesker. Mikroorganismene er valgt, da de er traditionelle mikrobielle spildevandsparametre.

2.2.1 Bakterier

2.2.1.1 *Campylobacter*

Det naturlige levested for de fleste *Campylobacter* er tarmkanalen hos varmblodede dyr, herunder fugle. Den er påvist i forurenede overfladevand og forurenede drikkevand.

Mennesker smittes sædvanligvis peroralt (via munden) via forurenede fødevarer eller vand og i sjældnere tilfælde fra person til person.

I Danmark blev der i 2000 registreret 4.402 tilfælde af human campylobacteriose. *C. jejuni* er den hyppigst forekommende type hos mennesker og udgør omkring 90% af det totale antal infektioner, mens *C. coli* udgør omkring 10% (SSI, 2001).

2.2.1.2 *Salmonella*

Salmonella bakterier kan forekomme i naturen og i store dele af husdyrproduktionen. Mennesker smittes sædvanligvis peroralt via forurenede fødevarer eller vand og i sjældnere tilfælde fra person til person.

Der findes mere end 2.300 *Salmonella* serotyper, og de fleste serotyper giver anledning til diarré af kortere eller længere varighed. Hovedparten af sygdomstilfælde i Danmark skyldes *S. enteritidis* og *S. typhimurium*. Salmonellose er den næsthyppest bakterielle zoonose i Danmark og i 2000 blev der registreret 2.344 tilfælde hos mennesker (SSI, 2001).

2.2.2 Protozoer

2.2.2.1 *Cryptosporidium parvum*

C. parvum er en encellet parasit, dvs. en protozo, der forekommer hos dyr og mennesker. Cryptosporidier har et infektiøst stadie – oocyst, som er infektiø

umiddelbart efter udskillelse med fæces. Overførsel af smitte kan ske fra person til person, fra dyr til person, ved indtagelse af fækalt forurenede fødevarer eller vand eller ved kontakt med fækalt forurenede overflader som f.eks. marker eller græsarealer.

Der diagnosticeres ca. 180 tilfælde med cryptosporidiose i Danmark årligt, hvoraf ca. 150 er rejserelaterede (Brøndsted et al., 2000).

2.2.2.2 *Giardia intestinalis* (=doudenalis)

G. intestinalis er en encellet parasit, dvs. en protozo. Mennesket regnes som hovedreservoir, selvom den også er isoleret fra husdyr og vilde dyr. Det animalske reservoir udgør således en mulig smittekilde. Smitten sker som regel ved indtagelse af forurenede vand og sjældnere via fødevarer.

Giardia har et infektiøst stadie – cyst, som er infektiøs umiddelbart efter udskillelse med fæces.

I Danmark diagnosticeres ca. 1.500 human infektioner, hvoraf omkring 80% vurderes at være relateret til rejser i udlandet (Brøndsted et al., 2000).

2.2.3 Virus

2.2.3.1 *Enterovirus*

De mest almindelige typer af enterovirus omfatter *Poliovirus* (3 typer), *Coxsackievirus* (30 typer) og *Echovirus* (34 typer). Enterovirus formeres i tarmen og udskilles i fæces i 1-2 måneder efter infektion. De er alle i stand til at forårsage sygdomme. De fleste infektioner er dog milde. Sædvanligvis udvikler kun ca. 50% af mennesker smittet med enterovirus en klinisk sygdom. *Coxsackie* kan forårsage en del forskellige livstruende sygdomme, som hjertesygdomme, meningitis og lammelse.

2.2.4 Indikatorbakterier

Indikatorbakterier anvendes til påvisning af et eller flere smitstoffer. De bakterielle indikatorer der anvendes er følgende:

2.2.4.1 *Enterokokker*

Enterokokker anvendes som indikator på fækal forurening. Den findes i dyrs og menneskers tarmkanal og er mere resistent overfor udtørring, varme og andre ydre påvirkninger end *E. coli*, *Salmonella* og andre sygdomsfremkaldende bakterier.

2.2.4.2 *Totale coliforme bakterier*

Gruppen af total coliforme bakterier er gramnegative, stavformede ikke-sporerdannende bakterier, som er laktose forgærende ved 35-37 °C med produktion af syre og base. Bakterier, der opfylder disse betingelser, hører til familien Enterobacteriaceae, som omfatter f.eks. *E. coli* samt medlemmer af slægterne *Enterobacter*, *Klebsiella* og *Citrobacter*.

2.2.4.3 *Fækale colibakterier (termotolerante coliforme bakterier)*

Gruppe af termotolerante coliforme bakterier opfylder alle kriterier i definitionen af totale coliforme bakterier, men de skal endvidere forgære laktose med produktion af syre og gas ved 44,5 °C. Disse kriterier betyder, at bakterierne næsten udelukkende stammer fra dyr og menneskers tarmkanal.

2.2.4.4 *E. coli*

E. coli tilhører gruppen af termotolerante coliforme bakterier og findes udelukkende i dyrs og menneskers tarmkanal. *E. coli* anvendes som indikator for fækal forurening af vand.

En gruppe af de sygdomsfremkaldende *E. coli* kaldes verotoksinproducerende *E. coli* (VTEC). VTEC er ansvarlig for mange af de symptomer, som man ser hos syge mennesker. Den mest almindelige serotype i forbindelse med fødevarerbårne infektioner og vand forurenet med gødning fra kvæg er *E. coli O157*. *E. coli O157* stammer fra drøvtyggere og i særlig grad fra kvæg. Der skal kun et lille antal *E. coli O157* til for at give sygdom. Der var 60 tilfælde i Danmark med VTEC i år 2000, hvoraf de 18 var *E. coli O157* (Brøndsted et al., 2000).

2.3 Infektios dosis

Sygdomme er resultatet af et komplekst samspil mellem smitstof og vært. Resultatet af dette samspil afhænger af faktorer som: (Nickelsen og Kristensen, 1991, Stenström, 1996)

- Smitstoffets anslagskraft/farlighed
- Værtens modstandskraft (immunforsvar, tilvænning, stress, værtens alder, helbred, bagomliggende sygdomme osv.)
- Smittevej (inhalation, indtagelse, hudkontakt)
- Eksponeringstidspunkt, -mængde og -hyppighed.
- Mavesyreproduktion (levnedsmidler udløser saltsyreproduktion i maven, mens vand ikke udløser produktion af den smitstofeliminerende mavesyre)
- Eksponering sammen med mad eller drikke, eller på tom mave.

Det fremgår, at antal og art af optagne smitstoffer er en væsentlig, men ikke enerådende faktor mht. hvorvidt smitstofoptagelse medfører sygdom. Der er således en række betingelser, som skal kombineres og opfyldes for at smitstofferne bevirker infektion. Disse forhold er ikke dyrket yderligere her. Der henvises til litteratur af bl.a. Gerba og Stenström, 1996 (Sjukdomsfremkallande mikroorganismer i avloppssystem – riskvärdering av traditionella och alternativa avloppslösningar).

Infektiose doser angiver den dosis af et smitstof, som er nødvendig for at fremkalde sygdom hos en anden vært. Doserne varierer meget imellem de forskellige smitstoffer og for enkelte arter. Eksempelvis varierer dosen imellem forskellige *Salmonella*-arter og er mindre ved inhalation af aerosoler end når bakterierne optages peroralt (Stenström, 1996). Den infektiose dosis afhænger af påvirkningsmåde og målorgan, dvs. at man f.eks. let kan få øjenbetændelse og at der kræves større doser for at få diarré end at få øjenbetændelse ved eksponering via øjnene. Man kan endvidere ikke få diarré ved at man får bakterier i øjnene.

De teoretiske infektiøse doser fremgår af tabel 2.1.

Tabel 2.1 Teoretiske infektiøse doser.

Mikroorganismer	Infektiøse Doser ID ₅₀	Reference
Bakterier: <i>E. coli</i> O157	< 100	(Riemann and Cliver, 1998)
<i>Salmonella</i>	1-10 ¹¹ (median: 10 ²)	(Blaser and Newman, 1982)
<i>Campylobacter</i>	500 org. 500-800 org. < 1.000 org.	(Stenström, 1996) (Robinson, 1981) (Kapperud, 1994)
Virus: Enterovirus	1-10 viruspartikler	(Stenström, 1996)
Protozoer: <i>Giardia intestinalis</i>	25-100 cyster	(Smith et al., 1995)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	10-100 oocyster	(Meinhardt et al., 1996)

For protozoerne, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum*, er infektionsdosen meget lav.

Infektionsdosen for *Salmonella* afhænger af flere faktorer, såsom alder og immunstøtte. (D'aoust, 1989) angiver i forbindelse med et udbrud, at 10 bakterier har været i stand til at forårsage sygdom.

De angivne infektiøse doser er anvendt i de senere afsnit til en grov estimering af hvor meget spildevand, der teoretisk skal til for at forårsage sygdom.

I tabel 2.2 karakteriseres smitstofferne efter mængde udledt med human afføring/afløbsvand og størrelse af infektionsdosis. I tabellen er ligeledes angivet overlevelsessevne i vandmiljøet i parentes.

Tabel 2.2 Husspildevand. Udledt mængde og størrelsen af infektionsdosis. (Stenström, 1996)

	Udskilles i stor mængde	Udskilles i middelstor mængde	Udskilles i lille mængde
Stor infektionsdosis	<i>Salmonella</i> <i>E. coli</i>	-	-
Middelstor infektionsdosis	<i>Salmonella</i> <i>E. coli</i>	-	-
Lav infektionsdosis	<i>Campylobacter</i> (lav) Enterovirus (stor/god, ingen tilvækst)	<i>Giardia intestinalis</i> <i>Cryptosporidium parvum</i>	-

Infektionsdosen for *Salmonella* er ikke nødvendigvis altid stor eller middelstor. Det afhænger som tidligere nævnt af en lang række faktorer, som alder, smittevej og immunforsvar.

De interessante og problematiske mikroorganismer er i sundhedsmæssig henseende mikroorganismer med en lav infektiøs dosis og som udskilles i stor mængde til spildevand. Dette er bl.a. *Campylobacter*, enterovirus, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum*, da disse opfylder kriterierne.

2.4 Overlevelsestid

Overlevelsessevnen for smitstoffer i det akvatiske miljø har naturligvis betydning for de sundhedsmæssige risici for de badende og andre brugere.

Overlevelsestiden for smitstofferne i vandmiljøet er afhængig af flere faktorer (Nickelsen og Kristensen, 1991):

- Temperatur
- UV-lys
- Saltindhold
- Iltkoncentration
- Indhold af toksiske stoffer
- Indhold af organisk stof
- Indhold af partikler
- Inaktivering betinget af den naturlige mikroflora
- Indhold af bakteriofager (Bakterievirus)
- Indhold af oxidations- og reduktionsmidler.

Visse patogener kan overleve uden for mennesket i meget lang tid, som f.eks. virus, men de kan ikke formere sig i vand. De behøver en værtscelle for vækst.

I tabel 2.3 angives mikroorganismernes overlevelsestid ved forskellige temperaturer.

Tabel 2.3 Mikroorganismernes evne til at overleve ved forskellige temperaturer. (Stenström, 1996)

Mikroorganisme	Overlevelsestid (20-30°C)	Overlevelsestid (4-8°C)	Overlevelse udenfor menneske (i natur eller dyrevært)
<i>E. coli</i>	2 mdr.	3 mdr.	Ja, tilvækst kan ske
<i>Salmonella typhi</i>	1-2 mdr.	3 mdr.	Nej
<i>Salmonella spp.</i>	2-3 mdr.	3-4 mdr.	Ja, tilvækst kan ske
<i>Campylobacter</i>	14 dage	??	Ja, tilpasning mulig
Enterovirus	3 mdr.	6 mdr.	Ja
<i>Giardia intestinalis</i>	1-3 mdr.	3-6 mdr.	Ja
<i>Cryptosporidium parvum</i>	??	??	Ja

?? Mangelfuld eller ukendt viden.

Generelt er levetiden for patogenerne længere ved lavere temperatur (4-8 °C) end ved højere temperatur (20-30 °C). For flere af mikroorganismene fordobles levetiden ved de lave temperaturer. Ved 4-8 °C varierer levetiden fra 3-6 måneder, mens levetiden ved 20-30 °C varierer mellem 14 dage og 3 måneder.

Smitstoffernes overlevelsessevne i det akvatiske miljø er beskrevet i litteraturen. Nedenstående er en sammenfatning af de fundne artikler fra 1995-2000 om dette emne mht. til de undersøgte smitstoffer i nærværende undersøgelse.

I havvand varierer T_{90} for *E. coli* mellem ½ time og 3 døgn. T_{90} angiver tiden, hvormed 90% af smitstofferne er døde. Henfaldet er 100 gange større i solskin end om natten. *Cryptosporidium parvum* har en bedre overlevelsessevne i havvand i mørke end *Giardia muris*, *E. coli*, *Salmonella* og *Poliovirus*, angivet i størrelsesordenen. I sollys er rækkefølgen: *Cryptosporidium parvum*, *Poliovirus*, *Giardia muris*, *Salmonella* og *E. coli* (Nielsen et al., 1996 og Johnson et al., 1997). Overlevelsestiderne varierer fra 25 til 96 timer i mørke og ½ til 50 timer i sollys.

Cryptosporidium parvum kan overleve i fersk flodvand i flere måneder, med størst evne i koldt vand. *E. coli* og fæk. enterokokker har lavere overlevelsestid

end *Cryptosporidium parvum*, med op til 80 døgn. De to bakterier har samme temperaturafhængighed som *Cryptosporidium parvum*. *Salmonella Typhimurium* udviser større overlevelsessevne i ferskvand end *E. coli* (Medema (1) et al., 1997), (Rajala og Heinonen-Tanski, 1998).

2.5 Arbejdsmiljøproblemer knyttet til spildevand

De personer, der er mest eksponerede for smitstoffer, er primært kloakarbejdere og driftspersonale på renseanlæg. Det vil sige personer som kan blive udsat for smitstofferne, før der foregår en væsentlig reduktion af smitstoffer i de kommunale renseanlæg. Smitterisikoen afhænger bl.a. af smitstoffernes anslagskraft/farlighed, personens modstandskraft og infektionsvejen enten ved indånding, indtagelse eller gennem revner/rifter i huden (Jvf. afsnit 1.5). (Brandt, 2001), (Nielsen, 2001) og (Nickelsen og Kristensen, 1991)

2.5.1 Immunforsvar

Modstandskraften er en kombination af flere faktorer, som trækker i forskellige retninger. Det er bl.a. tilpasning/tilvænning, stress, genetik og fysisk arbejde.

Spildevandsarbejdere kan være udsat for en stor mikrobiel belastning i det daglige ved kontakten med det smitstofholdige spildevand på arbejdspladsen. Kroppen og immunforsvaret tilvænnes således til smitstofferne. Viden om langtidseffekterne herved er relativt begrænset. Det vides, at nye medarbejdere på renseanlæg ofte får diarré i starten af ansættelsen. Endvidere vides, at nogle spildevandsarbejdere får diarré efter en ferie. Det skyldes antageligt, at tarmfloraen ikke har været eksponeret for mikroorganismer et stykke tid, men bliver efter ferien igen eksponeret (Brandt, 2001).

Der er eksempler på, at medarbejdere har været meget syge og har måttet stoppe med denne type arbejde, hvorimod andre medarbejdere ingen problemer har bortset fra start- og feriediarré (Brandt, 2001).

Under stress har mennesker en tendens til nemmere at blive syge, idet immunforsvaret er presset og svækket.

Flere arbejdsprocedurer på renseanlæg, i kloaker og pumpestationer må betegnes som hårdt fysisk arbejde. Under hårdt fysisk arbejde er luftindtaget meget stort, hvorfor der kan indåndes større mængder mikroorganismer.

2.5.2 Smitteveje

Følgende generelle eksponeringsveje er mulige:

- Inhalation (indånding)
- Indtagelse
- Direkte hudkontakt.

Inhalation af aerosoler betragtes som den vigtigste eksponeringsvej for arbejdere på renseanlæg. Optagelsen af bakterier, virus m.v. er stor via aerosoler. Det skyldes, at små mikroorganismer og specielt endotoksiner, kan optages ved indåndingen og samtidig er den infektiøse dosis ved indånding generelt mange gange mindre end ved indtagelse. For *Salmonella* er påvist infektiøse doser ca. 1.000 gange mindre ved aerogen inhalation end ved oral

indtagelse (Nielsen, 2001). Endotoksiner behøver ikke at komme ind over slimhinderne for at have en effekt (Nielsen, 2001).

I lægelige termer opdeles smitte i akutte effekter og infektioner/infektionssygdomme. (BST, 2000 og Nielsen, 2001) De dominerende akutte effekter omfatter symptomer for mave-tarm betændelse med diarré, kvalme, symptomer for hud og slimhinder, men også hovedpine, træthed og svimmelhed er hyppigt forekomne. Endotoksiner anses for at være den primære årsagsfaktor hertil. Diarrétilfældene er typisk pludselig opståede, afebrile og af timers til få dages varighed. De akutte effekter kan udvikle sig til kroniske gener, luftvejslidelser (lungefunktionspåvirkning, kronisk bronkitis og øget reaktivitet) og/eller infektionssygdomme. Infektionssygdomme og eksponering for sygdomsfremkaldende mikroorganismer omfatter bl.a. *Weills syge*, *hepatitis A virus*, *Poliovirus*, *Legionella*, *Salmonella enteritidis*, *Yersinia enterocolitica*, *Giardia duodenalis* og *Clostridium tetani*.

For spildevandsarbejdere er risikoen for eksponering størst ved følgende arbejdsområder opstillet efter eksponeringsvej:

- Inhalation: aerosoler – alle processtanke, mekanisk rensning (sandvaskere, ristebygværk, sand- og fedtfang m.v.), slambehandlingsprocesser (afvanding, tørring m.v.) og opstilling af prøveudtagningsudstyr
- Indtagelse: sprøjt af spildevand, kontakt med slam og via urene hænder (spisning) – alle processtanke, mekanisk rensning (sandvaskere, ristebygværk, sand- og fedtfang m.v.), slambehandlingsprocesser og opstilling af prøveudtagningsudstyr
- Direkte hudkontakt (Revner/rifter i huden): sprøjt af spildevand og kontakt med slam - alle proces-tanke, mekanisk rensning (sandvaskere, ristebygværk, sand- og fedtfang m.v.), slambehandlingsprocesser og opstilling af prøveudtagningsudstyr.

2.6 Registrerede sygdomstilfælde knyttet til vand og spildevand

Uheldig håndtering af spildevand og drikkevand kan medføre en forurening af det ydre miljø, som yderligere kan resultere i en sundhedsmæssig risiko for mennesker. Oftest skyldes problemerne, at barriererne imellem spildevandet, drikkevandet, badevandet og mennesker er svage, dvs. at de anvendte adfærdsformer, arbejdsprocedurer og tekniske tiltag ikke er tilstrækkeligt tilpassede den faktiske smitterisiko som foreligger.

Ovenstående har foranlediget følgende problemstillinger:

- Arbejdsmiljøproblemer for de ca. 3.000 medarbejdere, der arbejder med kloak- og renseanlæg i Danmark - arbejdsbetinget sygdom
- Badevandsrelaterede sygdomme (ved udledning af spildevand til badevandsområder)
- Sammenblanding af spildevand og drikkevand – drikkevandbåren udbrud
- Forurening af levnedsmidler, herunder fisk og skaldyr.

Der er i Danmark ikke registreret badevandsrelaterede sygdomme, men i udlandet, specielt i Storbritannien og USA er der foretaget undersøgelser og registreret infektionstilfælde. Der henvises til anden litteratur, som omhandler og opgør tilfældene, evt. Nickelsen et al., 1995 (Bathing Water – Microbiological Control).

2.6.1 Arbejdsbetinget sygdom for spildevandsarbejdere

I Danmark har der ikke været foretaget undersøgelser af den forøgede sygdomsrisiko ved arbejde på renselanlæg.

For spildevandsarbejdere har sporadiske undersøgelser vist sygdomstilfælde samt en arbejdsbetinget smitterisiko i forhold til andre faggrupper, specielt vandforsyningsarbejdere, se tabel 2.4. De registrerede sygdomstilfælde stammer fra både danske og udenlandske undersøgelser. Det er alene tilfælde, som er knyttet til spildevand, der er medtaget.

Tabel 2.4 Sygdomstilfælde og arbejdsbetinget smitterisiko for spildevandsarbejdere.

Sygdom og smitstof – Land/sted	Beskrivelse og kommentar	Reference
3 tilfælde af Weills syge hos spildevandsarbejdere pga. leptospirer siden 1968. Danmark	Weills syge er meget sjælden og kan i de voldsomste tilfælde medføre døden. Bakterien stammer fra rotteurin, hvorfor man kan blive smittet ved berøring af steder hvor rotter har tisset. Rotter har i dag primært til huse i kloakker, ved landbrug og ved dambrug. Sygdomstilfældene for spildevandsarbejderne er arbejdsbetinget.	(Brandt, 2001)
5 tilfælde af Weills syge hos spildevandsarbejdere pga. leptospirer. Singapore	Weills syge er meget sjælden og kan i de voldsomste tilfælde medføre døden. Bakterien stammer fra rotteurin, hvorfor man kan blive smittet ved berøring af steder hvor rotter har tisset. Rotter har i dag primært til huse i kloakker, ved landbrug og ved dambrug. Undersøgelsen har omfattet 80 spildevandsarbejdere og 120 rengøringsarbejdere (kontrolgruppe). Sygdomstilfældene for spildevandsarbejderne er arbejdsbetinget.	(Chan et al., 1987)
12% af kloakarbejderne havde antistoffer mod leptospirer. Canada	Undersøgelsen omfattede 76 kloakarbejdere og en kontrolgruppe. I kontrolgruppen havde 2% antistoffer.	(De Serres et al., 1995)
7 ud af 70 (10%) spildevandsarbejdere havde antistoffer mod Hepatitis A. Danmark/Århus	Kun ca. 10% af de smittede oplever, at de er syge. Undersøgelsen omfattede 70 spildevandsarbejdere i Århus Kommune i 1995. 6 født før 1945 var positive, men havde aldrig været syge. Den 7. blev syg under undersøgelsen. Han havde ikke anvendt værnemidler konsekvent ved spuling af spildevandspumper. Denne person er efter al sandsynlighed smittet gennem arbejdet. De øvrige kan generelt skyldes dårligere hygiejniske forhold i barndommen.	(Brandt, 2001)
30 ud af 50 (60%) af spildevandsarbejdere har haft en hepatitis A infektion. England	Kun ca. 10% af de smittede oplever, at de er syge. Undersøgelsen omfattede 50 spildevandsarbejdere. Kontrolgruppen var vandforsyningsarbejdere. I alt er 241 personer undersøgt. Hepatitis A forekomsten hos spildevandsarbejderne var signifikant større end hos vandforsyningsarbejdere – arbejdsbetinget sygdom.	(Brugha et al., 1998)

Tabel 2.4 Fortsat. Sygdomstilfælde og arbejdsbetinget smitterisiko for spildevandsarbejdere.

Sygdom og smitstof – Land/sted	Beskrivelse og kommentar	Reference
5 tilfælde af Pontiac feber pga. legionella i 1997. Danmark/Køge	Pontiac feber er en mild influenza-lignende sygdom. 5 arbejdere på et industrielt renseanlæg blev smittet med legionella bakterier fra aerosoler under vedligeholdelse af en slamcentrifuge i et lille lukket rum, mens en anden udækket slamcentrifuge kørte. Arbejdet stod på i 10 dage.	(Gregersen et al., 1999)
4% havde mavetarm betændelser pga. <i>Giardia intestinalis</i> . 12% havde protozoer i mave/tarm. Frankrig/Paris	Risikoen for parasit infektioner blev undersøgt for 126 kloakarbejdere i Paris. Kontrolgruppen var 363 personer i fødevarerindustrien. Periode for ansættelse var 1988-1993. Infektionerne var arbejdsbetingede.	(Schlosser et al., 1999)

Undersøgelser i USA, Italien, Sverige og Kroatien viser, at spildevandsarbejdere har signifikant flere luftvejs-, hud og øjenirritationer end andre sammenlignelige faggrupper (eksempelvis vandforsyningsarbejdere), og at årsagen hertil kan tillægges eksponering for aerosoler, der indeholder endotoksiner, bakterier, vira. (Khuder et al., 1998), (Salano & Copello, 1998), (Melbostad et al., 1994) og (Zuskin et al., 1993).

En canadisk undersøgelse af 50 renseanlægsarbejdere viste, at mange arbejdere ved en slamtøringsproces har fået konstateret influenza-lignende symptomer, hoste, øm hals og hudirritationer (Nethercott and Holness, 1988). Der er uvist hvorvidt medarbejderne har anvendt værnemidler.

En undersøgelse af de københavnske kloakarbejdere fra 1965-1997 viste 10-25% større risiko for leverkræft end for den mest sammenlignelige faggruppe, nemlig københavnske vandforsyningsmedarbejdere. (BST, 2000) Årsagen hertil kendes ikke.

Det fremgår således, at spildevandsarbejdere udsættes for større smitterisiko på arbejdspladsen end andre faggrupper. Endvidere er antallet af tilfælde med alvorlige sygdomme for den forholdsvis lille gruppe på ca. 3.000 arbejdere relativ stor.

Generelt opleves et meget lavt sygefravær ved arbejde på renseanlæg. De lave sygefravær kan skyldes stærkt immunforsvar på grund af hyppig eksponering for det organiske støv og mikroorganismer. Men nogle spildevandsarbejdere får kortvarig diarré efter en ferie (Brandt, 2001).

Statens Serum Instituts (SSI) register for anmeldte infektionssygdomme omfatter mindre end 10 anmeldelser for den seneste 20 års periode. De anmeldte infektionssygdomme fremgår af bekendtgørelse nr. 175 af 14. marts 2000 (Bekendtgørelse om fortegnelse over erhvervssygdomme) og omfatter bl.a. følgende infektøse og parasitære sygdomme:

”Infektøse og parasitære sygdomme overført til mennesker fra dyr eller dyrisk materiale. Samme sygdomme forårsaget af arbejde i renovationsanlæg og ledningsnet hertil og lignende”. ”Infektionssygdomme hos personer, der som led i deres arbejde har haft kontakt med blod, væv, vævsvæsker eller andet

biologisk materiale fra patienter/personer med samme type infektion". Der nævnes som "sygdommens art" bl.a. Weil's syge, stivkrampe, tuberkuløs smitte fra dyr, hepatitis og stafylokokker som eksempler. Det vurderes, at registret er mangelfuldt, da flere sygdomstilfælde, som er kendt af både spildevandsarbejderne og BST, ikke er registreret hos SSI.

2.6.2 Vandbåren udbrud

Mikrobiel forurening af drikkevand, som har ført til sygdom, kan registreres på følgende måde:

- Ved påvisning af termotolerante coliforme bakterier og/eller coliforme bakterier (dvs. mere end "ikke påvist", som er kvalitetskravet til drikkevand), som giver mistanke om, at der måske er sket en forurening af drikkevandet.

Der er eksempel på, at en forurening er blevet opdaget ved, at der i forbindelse med den rutinemæssige vandprøve blev påvist termotolerante coliforme bakterier. Det medførte yderligere undersøgelser og kildeopsporing og herved har man i et tilfælde konstateret, at der var adgang for duer i rentvandsbeholderen.

- Ud fra forekomst af syge folk og hvor der kan påvises en forbindelse til drikkevandet.

Der er et eksempel på, at folk er blevet syge og at man i fæces fra de syge patienter påviste *Campylobacter* samtidig med at man påviste *Campylobacter* i rentvandsbeholderen.

De fleste forureningssager/vandbårne udbrud opdages via analyser af drikkevandet og sjældent ved kontakt til lægen.

Af tabel 2.5 fremgår de registrerede tilfælde med mikrobiel forurening i Danmark som følge af uheld ved tekniske anlæg. En del af disse tilfælde er forårsaget af forurening af drikkevand med spildevand.

Tabel 2.5 Mikrobiel forurening af drikkevand i Danmark som konsekvens af uheld i tekniske anlæg (Laurson, 1999), (Engberg et al., 1998).

Sted og tidspunkt	Antal syge personer / antal personer med smitterisiko eller vandmængde	Smitstof(fer)	Årsag til forurening eller andre bemærkninger	Vurdering af økonomiske tab som følge af smitstofforurening
Uggeløse, (Frederiksborg Amt), 1991/1992	1.600 / 2.000	Ukendt	Tilstopning af kloak pga. planterødder medførte tilbagesugning til vandværks bygning, hvilket forårsagede kortslutning af elektrisk pumpe. Herved skete tilbagesugning til tørbrønd. Endvidere var pakning på borehovedet defekt.	Produktionstab pga. sygdom: 1,6 mio. kr. Kloakrenovation: 0,6 mio. kr. Andet (mindst): 0,3 mio. kr. I alt (mindst): 2,5 mio. kr.
Sydfalster (Storstrøms Amt), 1993	Ukendt / 90 (ca. 35 husstande)	Ukendt	Tilstopning af kloak medførte, at spildevand lækkede ind i vandforsyningsnet.	Ukendt

Tabel 2.5 Fortsat. Mikrobiel forurening af drikkevand i Danmark som konsekvens af uheld i tekniske anlæg (Laurson, 1999), (Engberg et al., 1998).

Sted og tidspunkt	Antal syge personer / antal personer med smitterisiko eller vandmængde	Smitstof(fer)	Årsag til forurening eller andre bemærkninger	Vurdering af økonomiske tab som følge af smitstofforurening
Fåborg (Fyns Amt), 1994	Ukendt / 550 m ³	Ukendt	Oversvømmelse af brønd med overfladevand efter kraftig nedbør.	Ukendt
Udsholt (Frederiksborg Amt), 1995	Ukendt / 418 m ³	Ukendt	Forurening pga. brud på rentvandsledninger	Ukendt
Fredsø/Morsø (Viborg Amt), 1995	Ukendt / 325 (ca. 125 husstande)	Ukendt	Skiftning af rentvandsledninger. Tilbageflow fra beskidt slamsuger.	Ukendt
Aars (Nordjyllands Amt), 1995	Ukendt / 1.200 m ³	Ukendt	Forurening pga. reparationsarbejde på vandværk.	Ukendt
Nakskov (Storstrøms Amt), 1996	Få (med mavesmerter) / 4.000	Ukendt	Brakvand løb gennem defekt ventil på fabrik og ind i forsyningsnettet.	Ukendt
Allinge-Gudhjem (Bornholms Amt), 1996	Ukendt / 6.000 (inkl. Turister)	Ukendt	Vand fra vandløb oversvømmede en rentvandstank efter kraftig nedbør.	Ukendt
Gedved (Vejle Amt), 1996	Ukendt / 215 (ca. 83 husstande) + 2 skoler	Ukendt	Dårlig vedligeholdt vandværk. Muligvis defekt kloak nær installationsbrønd.	Ukendt
Klarup (Nordjyllands Amt), 1995/1996	2.800 / 3.730 (ca. 1.436 husstande)	<i>Campylobacter jejuni</i>	Beskadelse af kloak under boring af ny brønd, hvilket forårsagede lækage af spildevand til grundvandet.	Ukendt
Nr. Sundby, (Nordjyllands Amt), 1996	2.000 / 3.000	Norwalk virus ?	Defekt konstruktion af dræn fra sanitær installation i forbindelse med ombygning forårsagede tilbageflow af spildevand til rentvandsbrønd.	Ca. 0,5 mio. kr. for reetablering af korrekt dræn, kloring, skiftning af filtre og rengøring af ledninger

3 Prøveudtagning og analysering

3.1 Prøveudtagning

Prøveudtagningen er foretaget i perioden 15. aug. til 15. nov. 2000. Prøver til analyse for mikroorganismer er udtaget som stikprøver. Placeringen af målestationer fremgår af afsnit 4. Måleprogrammet og måleresultaterne fremgår af henholdsvis bilag A og B.

Udstyr til udtagning af prøverne er forberedt og forbehandlet af Miljølaboratorium Storkøbenhavn I/S, som har forestået akkrediteret prøveudtagning. Samme laboratorium har forestået transporten af prøverne til analyse.

3.2 Analyser

I Danmark anvender alle akkrediterede laboratorier samme metode til de mikrobiologiske parametre. De anvendte analysemetoder i denne undersøgelse fremgår af Tabel 3.1. Der er også angivet de analysemetoder, der anvendes i andre lande. Analysemetoderne er fundet gennem litteraturen, som omhandler undersøgelse af indholdet af mikroorganismer i spildevand.

Tabel 3.1 Land og analysemetoder for mikroorganismene.

Mikroorganismer	Metode	Bemærkninger	Land
Totale coliforme bakterier, <i>E. coli</i>	DS 2255:1983, MPN	MPN	Danmark, Sverige
	Membranfilter teknik APHA, 1992	Chromo-genetik	Italien USA, Grækenland
Fæk. enterokokker	ISO7899/2mod - MST 98		Danmark
<i>Salmonella</i>	DS 266:1988.mod		Danmark
<i>Campylobacter</i>	DS metodeforslag Elektronmikroskopi MPN		Danmark Tyskland Holland
Enterovirus	PCR	Udviklet til rent vand og patientprøver	Statens Serum Institut, Virologisk afdeling Italien
	MPN		
<i>Giardia intestinalis</i>	Opkonc., IMS, Immunofluorescens	Total indirekte fluorescent antibody count	Statens Veterinære Serumlaboratorium, Canada USA
	IFA-metode		
	Flourescens mikroskopi		
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Opkonc., IMS, Immunofluorescens	Total indirekte fluorescent antibody count	Statens Veterinære Serumlabora- torium, Canada USA
	IFA-metode		
	Flourescens mikroskopi		

Campylobacter analyserne er lavet i overensstemmelse med de erfaringer, der er indhøstet under udarbejdelsen af en kommende dansk standard for påvisning af *Campylobacter* i vand.

Der anvendes en semikvantitativ metode til bestemmelse af indholdet af henholdsvis *Salmonella* og *Campylobacter*. Analyseresultaterne for *Salmonella* og *Campylobacter* angives i koncentrationsintervaller, som eksempelvis: <1 i 100 ml, 10-100 i 100 ml eller 100-1.000 i 100 ml (jvf. bilag B).

Der er i projektet ikke analyseret for protozoer i det urensede spildevand, idet den anvendte metode ikke var afprøvet på urensede spildevand.

3.3 Diskussion af repræsentativitet af prøver

Man kan diskutere om udtagning af prøver af indløbsvand på et givent tidspunkt kan sammenholdes med udløbsprøver fra samme tidspunkt. Specielt da der generelt er en gennemsnitlig opholdstid i renseanlæg på ca. 24 timer. Flere undersøgelser viser, at ind- og udløbsprøver fra samme tidspunkt kan sammenholdes mht. koncentrationer bl.a. pga. opblandingen i reaktorerne/procestankene samt de forholdsvis langsomme renseprocesser. Endvidere forventes smitstofbelastningen af renseanlægget at være forholdsvis ens på de valgte prøveudtagningstidspunkter dag for dag. Fjernelsen af smitstoffer i renseanlæg er forholdsvis konstant dag for dag. Derfor må de udtagne prøver i indløb og udløb antages at være repræsentative for den samme spildevandsmatrix.

Driften af de to undersøgte renseanlæg har i prøveudtagningsperioderne fungeret tilfredsstillende med normale renseseffektiviteter af de traditionelle spildevandsparametre. Dette underbygger, at prøvetagningen kan karakteriseres som repræsentativ.

Det kan derfor i enkelte tilfælde forekomme, at udløbsprøverne viser en større koncentration af smitstoffer, specielt bakterier, end indløbsprøverne. Det kan skyldes, at bakterier forekommer i flokke og adhæderer til spildevandets suspenderede stof. Derved er der risiko for at en flok "smutter" med i analysen for udløbsprøven og ikke ved indløbsprøven.

I forhold til de traditionelle analysemetoder for de almindelige spildevandsparametre er måling, tolkning og sammenligning af analyseresultater for mikroorganismer vanskeligt. Sammenligning kan principielt kun foretages, hvis der er anvendt samme analysemetode, da undersøgelse for mikroorganismer er metodeafhængige parametre. Sammenligning af resultater for forskellige lande skal således foretages med varsomhed, og resultaterne kan, pga. forskellighederne i metoderne og at der er tale om stikprøver, kun sammenstilles som størrelsesordener.

De vigtigste elementer med hensyn til usikkerhederne er:

- Naturlig variationer af mediet
- Prøvetagningen
- Analysering.

Den største usikkerhed i forbindelse med vurderingen af resultaterne vil antageligt være ved prøveudtagningen. Prøvetagningen af mikrobiologiske prøver er i sig selv vanskelig, da man skal udtage en stikprøve, som er forholdsvis repræsentativ for indholdet i spildevandet. Der vil ved prøvetagningen desuden være risiko for, og dermed en usikkerhed for, at der udtages prøver på et ikke tilfredsstillende og repræsentativt tidspunkt for tilledningen, processerne og udledningen på renseanlæggene.

4 Egå og Marselisborg Renseanlæg

En overordnet beskrivelse af de to renseanlæg, hvor måleprogrammet blev udført, fremgår af Tabel 4.1. Begge er typiske renseanlæg udbygget til at leve op til Vandmiljøplanens krav for kvælstof og fosfor.

På ca. 25 anlæg i Danmark er der etableret en efterbehandling af det rensede spildevand gennem et gravitationsfilter. I filteret opsamles suspenderet materiale. Materialet, som opsamles, indeholder bl.a. partikulært bundne smitstoffer, organisk stof og næringsstoffer.

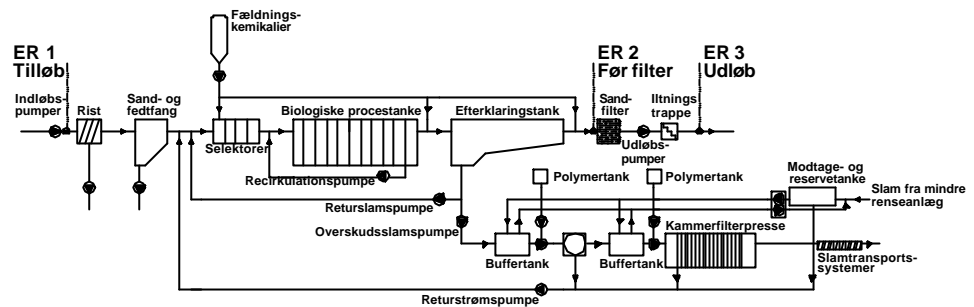
Tabel 4.1 Egå og Marselisborg renseanlæg. (Århus Amt, 1998), (Århus Kommune, 2000) og (Århus Amt, 2000). Anlægstype: M: Mekanisk, B: Biologisk, N: Nitrifikation, D: Denitrifikation, K: Kemisk og F: Filtrering.

Parameter	Egå Renseanlæg	Marselisborg Renseanlæg
Dimensioneringsgrundlag		
Biologisk, PE	90.000	220.000
Hydraulisk, m ³ /døgn	27.000	66.000
Anlægstype	MBNDKF	MBNDK
Udlederkrav		
BOD _m , mg/l	10	15
COD, mg/l	75	75
Tot-N	8	8
Tot-P	0,5	1,5
SS, mg/l	10	30
PH	6,5-8,5	-
Iltmætning, %	60	-
Recipient	Vienge kanal -> Århus Bugt	Århus Bugt
Driftsform	Intermitterende recirkulation	Biodenitro
Belastning (1998)		
Biologisk, PE	94.000	272.300
Industri andel, PE	55.000	173.300
Bolig andel, PE	39.000	99.000
Hydraulisk, m ³ /døgn	17.550	34.600

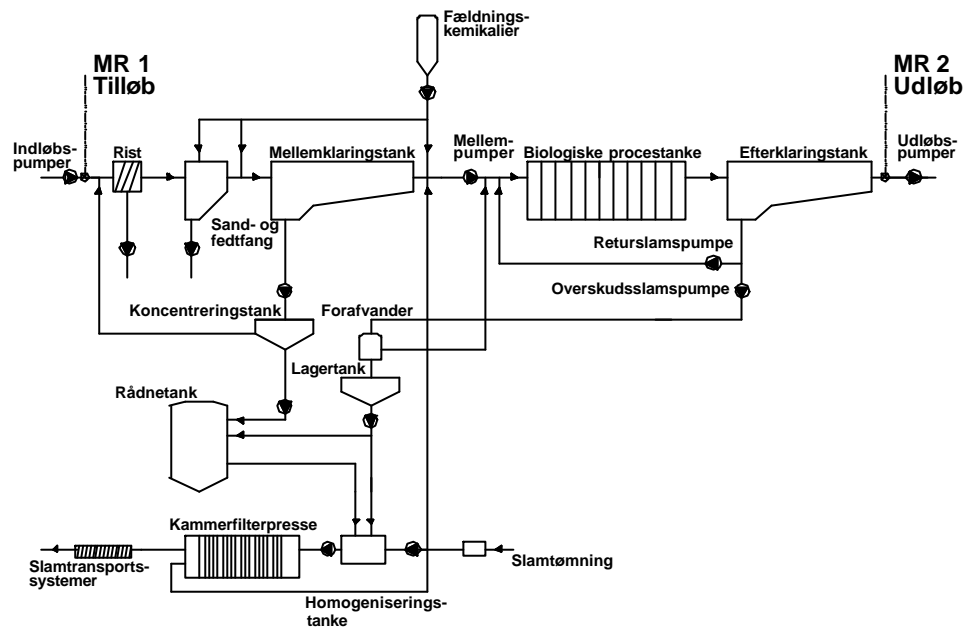
Begge renseanlæg drives i øvrigt med biologisk fosforfjernelse.

4.1 Anlægsopbygning

Af figur 4.1 og figur 4.2 fremgår opbygningen af renselanlæggene ved procesdiagrammer med angivelse af de anvendte prøvetagningsstationer.



Figur 4.1 Flowdiagram for Egå Renseanlæg. Prøvetagning ved ER 1, 2 og 3.



Figur 4.2 Flowdiagram for Marselisborg Renseanlæg. Prøvetagning ved MR 1 og 2.

Egå Renseanlæg består af samme anlægsopbygning som Marselisborg Renseanlæg, bortset fra forklaring og rådnetank, men har et yderligere rensetrin i form af et sandfilter.

4.1.1 Renseprocesser

Vor viden om præcist hvilke mekanismer, som er styrende for fjernelsen af sygdomsfremkaldende mikroorganismer i offentlige renselanlæg, er begrænset. I det følgende er der foretaget en simpel beskrivelse af renseprocessen med vægt på biologisk omsætning til nedbrydning af smitstoffer og sedimentation til fjernelse af samme.

Opbygning af et renselanlæg med en aktiv slamdel kan opdeles i tre overordnede trin:

- Mekanisk forrensning
- Biologiske processer og efterklaring

- Filtrering.

På ganske få danske renseanlæg er der derudover et desinficerende rensetrin.

4.1.1.1 Mekanisk forrensning

Den mekaniske forrensning er første trin i kommunale aktiv slam anlæg og består oftest af en rist og et sand- og fedtfang. Der sker i risten en fysisk frasortering af grove forureninger i det urensede spildevand, såsom plast, træstykker, klude, bleer, vatpinde, toiletpapir m.m. Fjernelsen af mikroorganismer i riste er meget begrænset. Ristestof regnes dog for at være stærkt smittefarligt, da mikroorganismene er relativt infektiøse i det ubehandlede spildevand og desuden indeholder ristestoffet meget toiletpapir, som også består af en vis mængde fæces med mikroorganismer. Ristestoffet håndteres som farligt affald.

I sandfanget separeres sand og andet tungt materiale i spildevand, mens fedt og olie udskilles i et fedtfang. En kombination af sandfang og fedtfang findes hyppigt, ofte med beluftning.

Fjernelsen af patogener i forrensningen er begrænset. Man regner med, at henholdsvis *E. coli* og parasitter reduceres til henholdsvis ca. 1/30 og 1/30 - 1/10. Der forventes principielt ingen reduktion af virus i den mekaniske rensning (Den Kommunale Højskole, 2001).

4.1.1.2 Biologiske processer og efterklaring

De biologiske renseprocesser udføres af mikroorganismer, som så vidt vides ikke er sygdomsfremkaldende. I processerne omsættes organisk stof, kvælstof og fosfor, ved periodevis tilsætning af ilt. Som supplement til de biologiske processer tilsættes ofte kemikalier for at fælde fosfor, således den sedimenterer i efterklaringstanken. Spildevandet holdes i suspension i tankene for at sikre, at de nedbrydende mikroorganismer kommer i kontakt med næringsstofferne, som indbygges i slammet. Under de biologiske processer produceres slammet således ved væksten af mikroorganismene. Slammet vil indeholde bakterier og virus, som adhæderer til det partikulære materiale. Overskudsslammet indeholder således smitstoffer, hvorfor der f.eks. er krav til hygiejnisering inden udbringning på landbrugsjord.

Spildevandet ledes til efterklaring, hvor partiklerne indeholdende smitstoffer sedimenterer til bunds og adskilles fra vandfasen. Spildevandet er således rensat for næringsstoffer og kan derefter ledes til recipienten. Protozoer har ofte en vægtfylde, som gør, at sedimentationen foregår langsomt og disse genfindes derfor ofte i det rensede spildevand.

Reduktionen af smitstofferne (bakterier og virus) forventes således at følge reduktionen af det organiske stof, suspenderet materiale, kvælstof og fosfor. Reduktionen af smitstoffer foregår antageligt ved sedimentation og biologisk omsætning (inaktivering eller predation).

Man regner med, at henholdsvis *E. coli*, virus og parasitter reduceres til ca. 1/100 - 1/1.200, 1/100 - 1/1.000 og 1/100 - 1/10.000 (Den Kommunale Højskole, 2001).

4.1.1.3 Sandfilter på Egå Renseanlæg

Filtrering af spildevand anvendes på visse renseanlæg som sidste trin efter biologisk rensning og efterklaring. Filtret er beregnet til at nedbringe

restkoncentrationer af partikulær bundet fosfor og partikulær bundet organisk stof.

Filteret på Egå Renseanlæg er udformet som et traditionelt 2-mediafilter med sand og antracit. Spildevandet drives igennem filtret alene ved det væsketryk, som tyngdekraften fremkalder (gravitationsfiltrering). De partikler, som er større end porerne i sandlaget, tilbageholdes ovenpå dette. Men også partikler som er væsentlig mindre bliver fjernet. Ved strømningen gennem de snoede kanaler slynges partiklerne ud af strømmen og rammer sandkornenes overflade. De kan fastholdes ved en række forskellige mekanismer: De kan kile sig fast eller adsorbere til sandkornene. Der foregår ingen eller meget få biologiske processer i filteret.

For renselanlæg med opbygningen MBNDKF, som Egå Renseanlæg, regnes med at hhv. *E. coli*, virus og parasitter reduceres til ca. 1/125 – 1/11.250, 1/100 – 1/1.200 og > 1/10.000 (Den Kommune Højskole, 2001).

5 Kloakoplunde

Mennesker bidrager væsentligt til spildevandets indhold af smitstoffer. Der er dog en begrænset viden om belastningen fra særlige virksomheder og institutioner. Der eksisterer så vidt vides ingen offentlig regulering af virksomheder og institutioner ud fra indholdet af smitstoffer. Der findes så vidt vides ingen tilslutningstilladelser til offentlig kloak, hvor der direkte er fastsat vilkår til spildevandets indhold af smitstoffer.

I relation til f.eks. næringsstoffer og miljøfremmede stoffer eksisterer der i dag et begrebs- og reguleringssystem, som bidrager til en karakterisering af oplandene og som benyttes ved regulering af virksomheder og institutioners afledning af spildevand til det offentlige kloaknet. Et lignende system er ikke udviklet for smitstoffer.

5.1 Kilder til smitstoffer i vand

I det følgende sammenstilles litteraturstudiets resultater vedrørende industrielle kilders bidrag til smitstoffer i spildevand.

5.1.1 Fjerkræslagteri

I Holland er indholdet af *Campylobacter* undersøgt i spildevand, i udløbet fra et aktiv slamanlæg og i afløbet fra et fjerkræslagteri, som tilleder til anlægget (Koenraad et al., 1996). Indholdet af *Campylobacter* blev målt gennem tre døgn. Afløbet fra fjerkræslagteriet indeholdt ca. 10^5 pr. 100 ml vand. Gennem aktiv slamanlægget skete en reduktion med en faktor 10. Indholdet af *Campylobacter* i udløbet fra renseanlægget var stadig signifikant.

5.1.2 Sygehuse

Sygehuse repræsenterer en smittekilde, hvor der ikke er forebyggende eller afværgende foranstaltninger i forbindelse med udledning af spildevandet. Der eksisterer ingen analyser af indholdet af smitstoffer i sygehusspildevand i Danmark.

Tabel 5.1 indeholder de fundne indhold af mikroorganismer for spildevand fra forskellige industrier.

Tabel 5.1 Indhold af mikroorganismer i industrispildevand.

Industri type	Indikatorbakterie eller patogen	Indhold pr. ml spildevand	Metode	Reference
Hospital (Danmark)	Antibiotika resistente bakterier (<i>Acinetobacter spp.</i>)	1,1·10 ⁶ -7·10 ⁷ (opstr.: 5·10 ³)	24 h, 30°C, LBA, plade tælling	(Guardabassi et al., 1998)
Medicinalvare-fremstilling (Danmark)	Antibiotika resistente bakterier (<i>Acinetobacter spp.</i>)	5·10 ⁵ -1,2·10 ⁷	24 h, 30°C, LBA, plade tælling	(Guardabassi et al., 1998)
Fjerkræslagteri (Holland)	<i>Campylobacter</i>	10 ⁵	MPN	(Koenraad et al., 1996)
Svinefarm (USA, N.C.)	<i>E. coli</i>	2,9·10 ⁷	Flouresc.	(Hill and Sobsey. 1998)
	Fæk. coliforme bakterier	4,6·10 ⁷	mFC	(Hill and Sobsey. 1998)
	Fæk. enterokokker	2,5·10 ⁷	mE Agar	(Hill and Sobsey. 1998)

Tabel 5.2 viser et udvalg af industrielle kilder, der forventes at være væsentlige bidragsydere til spildevandets indhold af smitstoffer, enzymer og kemiske stoffer. I tabellen er givet et kvalificeret skøn over de forventede koncentrationsniveauer.

Tabel 5.2 Forurenende stoffer fra industrielle kilder.

Kilde	Smitstoffer konc.	Enzymer konc.	Resistente bakterier Konc.
Levnedsmiddelindustri			
Mejeri	Lav		
Slagteri	Høj		
Bioteknologisk industri			
Bryggeri	Lav	Høj	
Vaskemiddel		Høj	
Medicinalvirksomhed	Lav	Høj	Høj
Infrastruktur			
Lufthavn	Høj		
Havn	Høj		
Banegård	Høj		
Sundhedssektor			
Sygehuse	Høj	Lav	Høj
Plejehjem	Høj		
Turist industri			
Hoteller	Høj		
Campingpladser	Høj		
Asylcentre	Høj		

Der er ved den nuværende regulering mht. tilslutningstilladelse til offentlig kloak lagt vægt på spildevandsmængden og indholdet af næringsstoffer, organiske stoffer, miljøfremmede stoffer og tungmetaller.

5.2 Beskrivelse af kloakoplande til Marselisborg og Egå Renseanlæg

5.2.1 Marselisborg kloakopland

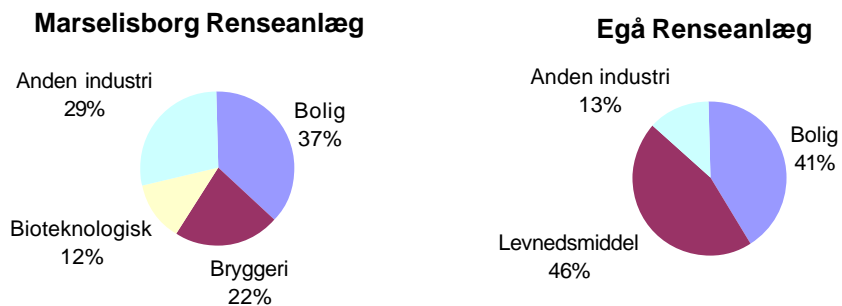
Kloakoplandet til Marselisborg Renseanlæg omfatter: Højbjerg, Skåde, Marselisborg, Frederiksbjerg, Christiansbjerg, Århus City, Århus Vest og Trøjborg. Oplandet er primært fælles kloakeret og er på ca. 1.800 ha., hvoraf ca. 7,5% er industriområde. Indbyggertallet i kloakoplandet er ca. 85.000.

5.2.2 Egå kloakopland

Kloakoplandet til Egå Renseanlæg omfatter: Egå, Lisbjerg, Ølsted, Terp, Skejby, Hasle-Århus V, Vejlbjby-Risskov, Skæring, Elev, Elsted-Lystrup, Hjortshøj, Studstrup og Løgtten-Skødstrup. Oplandet er primært separat kloakeret og er på ca. 2.800 ha., hvoraf ca. 70% er boligområde og 30% er industriområde. Indbyggertallet er ca. 57.000 personer.

5.2.3 Belastningsfordeling med hensyn til enkeltkilder

Belastningen af de to renselanlæg i 1998 fordeler sig som vist på figur 5.1. Belastningen på Egå og Marselisborg Renseanlæg er hhv. 94.000 og 272.300 PE (Jvf. tabel 4.1).



Figur 5.1 Belastningsopgørelse (PE) for Marselisborg og Egå Renseanlæg i 1998. (Århus Kommune, 2000)

Tabel 5.3 og 5.4 er en oversigt over de virksomhedstyper og institutioner i de to kloakoplandet, som forventes at bidrage med smitstoffer. Af oversigten fremgår et anslået vandforbrug og anslået koncentration af smitstof.

Tabel 5.3 Forurenende stoffer fra enkelt kilder i oplandet til Marselisborg Renseanlæg.

Kilde	Smitstoffer konc.	Resistente bakterier konc.	Flow m ³ /år
Levnedsmiddelindustri			
Slagteri	Høj		40.000
Mejeri	Lav		
Bioteknologisk industri			
Bryggeri	Lav		275.000
Infrastruktur			
Banegård	Middel		
Havn	Middel		
Sundhedssektor			
Sygehuse	Høj	Høj	
Tandlæge	Høj	Høj	
Turist industri			
Hoteller	Middel		

Tabel 5.4 Forurenende stoffer fra enkelt kilder i oplandet til Egå Renseanlæg.

Kilde	Smitstoffer konc.	Resistente bakterier konc.	Flow m ³ /år
Levnedsmiddelindustri			
Chokolade/slik	Lav		20.000
Mejeri	Lav		60.000
Bioteknologisk industri			
Enzym industri			5.000
Sundhedssektor			
Sygehuse	Høj	Høj	115.000
Plejhjem	Middel		170.000
Turist industri			
Højskole	Middel		

6 Hygiejnisk kvalitet af urensset spildevand

6.1 Spildevandsmængde

Vandforbruget pr. person og dermed spildevandsmængden i Danmark har generelt været faldende de seneste 15-20 år. Spildevandsmængden er foruden vandforbrug også afhængig af nedbør og grundvandsstand (indsivning) samt industribelastning.

Tabel 6.1 viser vandforbruget pr. person og døgn i Danmark i 1990 og 1999. Det viste forbrug er den vandmængde, som anvendes til husholdningsformål. Den tilsvarende spildevandsmængde, som er vandforbruget tillagt en antaget indsivningsgrad på hhv. 60% og 50%, er endvidere angivet.

Tabel 6.1 Daglig vandforbrug og spildevandsmængde pr. person i Danmark. (Danmarks Statistik, 2001)

År	Vandforbrug, l/pers./døgn	Spildevandsmængde, l/pers./døgn
1990	182	290
1999	139	209

6.2 Fortynding af smitstoffer

Årstiden, nedbørsmængden og den deraf afledte grundvandsstand er væsentlige faktorer for indsivningsgraden og dermed fortyndingen af spildevandet. Fortynding af spildevandet vil bevirke en fortynding af indholdet af smitstofferne, der dog ikke er af væsentlig betydning i den aktuelle sammenhæng. Koncentrationen efter fortyndingen vil stadig være væsentlig større end den infektiøse dosis (jvf. Tabel 2.3). Udledning via et overløbsbygværk (jvf. afsnit 10) vil derfor udgøre en smitterisiko for badende m.v. i det pågældende akvatiske miljø, hvis det er udlagt som badevandsområde.

6.3 Smitstoffer i råspildevand

Indholdet af smitstoffer i urensset spildevand er bestemt af faktorer som bl.a.:

- Den epidemiologiske situation i området
- Årstiden
- Tilførsel af bl.a. sygehusspildevand, slagterispildevand og andet industrispildevand med et betydende indhold af smitstoffer.

Personer inficerede med smitstoffer udskiller med fæces et vist antal sygdomsfremkaldende mikroorganismer (bakterier, virus og protozoer). Mennesker udskiller også bakterier, selv om vi ikke er inficerede. Menneskers bidrag til mikroorganismer spildevand fremgår af tabel 6.2. Alle tallene er for raske personer.

Tabel 6.2 Personers udskillelse af smitstoffer med afføring. (Stenström, 1996), (Nickelsen og Kristensen, 1991) og (Gerba, 1996).

Mikroorganismer	Antal pr. gram afføring
<i>E. coli</i>	10^8 - 10^9
Enterokokker	10^5 - 10^7
<i>Salmonella</i>	10^{10}
<i>Campylobacter</i>	10^6 - 10^9
Enterovirus	10^3 - 10^8
<i>Giardia intestinalis</i>	10^6
<i>Cryptosporidium parvum</i>	10^6 - 10^7

Et regneeksempel af det teoretiske indhold af smitstoffer er angivet i tabel 6.3. Der regnes med, at et menneske producerer 100 g afføring/døgn. Det nuværende gennemsnitlige vandforbrug i Danmark er ca. 150 l/person/døgn, hvoraf 20% anvendes til toiletskyl svarende til ca. 30 l/person/døgn. Der forventes et initial henfald (reduktionen som sker i afføringen udenfor mennesket) på 99%, dvs. 1% af de udskilte mikroorganismer overlever udenfor mennesket og ender i spildevandet.

Tabel 6.3 Indhold af mikroorganismer i husspildevand. Et regneeksempel.

Mikroorganismer	antal org./g afføring pr. døgn pr. person	antal org./døgn pr. person	Konc. i råspildevand (antal/liter) fra 1 person
<i>E. coli</i>	10^9	10^{11}	$3,3 \cdot 10^7$
Enterokokker	10^7	10^9	$3,3 \cdot 10^5$
<i>Salmonella</i>	10^{10}	10^{12}	$3,3 \cdot 10^8$
<i>Campylobacter</i>	10^9	10^{11}	$3,3 \cdot 10^7$
Enterovirus	10^8	10^{10}	$1,3 \cdot 10^5$
<i>Giardia intestinalis</i>	10^6	10^8	$1,3 \cdot 10^3$
<i>Cryptosporidium parvum</i>	10^7	10^9	$1,3 \cdot 10^4$

6.3.1 Henfald i kloaksystem

I kloaksystemet henfalder smitstoffer i forskellig grad. Størrelsen af henfaldet er en kombination af flere parametre, som død, hydrolyse, binding til biofilm m.v. Der forventes en marginal reduktion i kloaksystemet, da transporttiden varierer fra 1 til 24 timer, hvilket er meget lille i forhold til overlevelsestider samt de øvrige betydende faktorer for smitstoffernes overlevelsessevne (jvf. afsnit 2.6). Dog forekommer binding til biofilm og initial henfald. Omfanget af henfaldet af smitstoffer i kloaksystemer er dog ukendt.

6.4 Resultater af måleprogram og litteraturstudie

Af tabel 6.4 fremgår værdier for indhold af mikroorganismer i urensset spildevand, dvs. indløb til renseanlæg. Koncentrationerne er baseret på litteraturstudiet og det udførte måleprogram. De angivne værdier fra måleprogrammet gengiver det målte koncentrationsinterval i de to målerunder. Af bilag B fremgår analyseresultaterne fra måleprogrammet.

Tabel 6.4 Indhold af mikroorganismer i urensset spildevand. -: Ingen oplysninger. RA: Renseanlæg.

Mikro-organismer	Indhold pr. 100 ml urensset spildevand	Metode	Sted	Reference
Bakterier: <i>E. coli</i>	2,4·10 ⁶ -4,9·10 ⁷ 2,4·10 ⁶ -1,3·10 ⁸ 5·10 ⁶ 10 ⁶ -10 ⁸	DS 2255:1983 " Pladetælling Membr,filt. chrom.	Egå RA Marselisb. RA Åbybro RA Rom Lufthavn ¹	(Bjergbæk et al., 2000) (Gabrieli et al., 1997)
Fæk. colibakterier (Termotol. coliforme bakterier)	3,3·10 ⁵ -2,2·10 ⁷ 10 ⁶ -10 ⁷ 10 ⁷ 3·10 ³ -8,5·10 ⁴	- - MPN APHA, 1992	- RA i USA Rom RA Øst ² USA	(Nickelsen et al., 1995) (Gerba, 1996) (Aulicino et al., 1996) (Gibson III et al., 1998)
Totale coliforme bakterier	7,9·10 ⁶ -1,1·10 ⁸ 3,3·10 ⁶ -3,5·10 ⁸ 10 ⁸ -10 ⁹ 10 ⁷	DS 2255:1983 " - MPN	Egå RA Marselisb. RA RA i USA Rom RA Øst ³	(Gerba, 1996) (Aulicino et al., 1996)
Fæk. enterokokker	3,8·10 ⁴ -8·10 ⁵ 4,1·10 ⁴ -3,4·10 ⁶ 2,4·10 ⁵ 10 ⁴ -10 ⁵	ISO7899/2 mod, MST98 " - - -	Egå RA Marselisb. RA Tyskland ³ RA i USA	(Marcinek et al., 1998) (Gerba, 1996)
<i>Salmonella</i>	10·10 ³ 10·10 ³ 10 ² -10 ⁴ <1-1,8·10 ³	DS 266:1988,m. " - -	Egå RA Marselisb. RA RA i USA -	(Gerba, 1996) (Nickelsen et al., 1995)
<i>Campylobacter</i>	10·10 ⁴ i.p. ⁴ -10 ⁴ 4·10 ³ 10 ² -10 ⁴ 20- >10 ⁵	DS met.forslag " - Elekt.mikrosk. -	Egå RA Marselisb. RA - RA i Tyskland -	(Stenström, 1996) (Höller et al., 1998) (Nickelsen et al., 1995)
Virus: Enterovirus	i.p. - påvist i.p. - påvist 100 10·10 ³ 10 ³ -10 ⁴	PCR PCR - MPN -	Egå RA Marselisb. RA RA i USA Rom RA Øst ⁵ -	(Gerba, 1996) (Aulicino et al., 1996) (Nickelsen et al., 1995)

¹ Indløb til renselanlægget for Roms Lufthavn.

² Renseanlæg (aktiv slam) i Rom for husspildevand fra ca. 400.000 indbyggere.

³ Indløb til to renselanlæg i Tyskland, Regensburg (Klärwerk Barbing) og München (Klärwerk Marienhof).

⁴ i.p.: Ikke påvist i råspildevand.

Tabel 6.4 Fortsat. Indhold af mikroorganismer i urensset spildevand. -: Ingen oplysninger. RA: Renseanlæg.

Mikroorganismer	Indhold pr. 100 ml urensset spildevand	Metode	Sted	Reference
Protozoer: <i>Giardia intestinalis</i>	i.a. ⁵ i.a. ⁵ 18-100 1-88 1-1,4·10 ³ 9-283 10-10 ⁴ 10-50	– – – Imm.flouresc. Flouresc. mik. IFA-metode – –	Egå RA Marselisb. RA – RA i Canada V. Skotland ⁶ USA ⁷ RA i USA –	(Stenström, 1996) (Wallis et al., 1995) (Bukhari et al., 1997) (Gibson III et al., 1998) (Gerba, 1996) (Nickelsen et al., 1995)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	i.a. ⁵ i.a. ⁵ 0,1-12 1-17 0,25-10 ⁸ 10-10 ³ 0,8-5 500-1,5·10 ³	– – IFA-metode Flouresc. mik. IFA-metode – – –	Egå RA Marselisb. RA RA i USA V. Skotland ⁶ USA ⁷ RA i USA 67 RA i Japan –	(Rose, 1997) (Bukhari et al., 1997) (Gibson III et al., 1998) (Gerba, 1996) (Kaneko, 2000) (Nickelsen et al., 1995)

Koncentrationsniveauerne for indløbene til de to undersøgte renselanlæg svarer generelt til niveauer fra litteraturstudiet.

6.4.1 Bakterier

Det gennemsnitlige indhold af *E. coli*, total coliforme bakterier og fækale enterokokker i det urensede spildevand fra indløbsmålestationen ved Egå Renseanlæg og Marselisborg Renseanlæg er angivet i Tabel 6.5. Det er ikke muligt at beregne en gennemsnitsværdi for *Salmonella* og *Campylobacter* pga. den semikvantitative metode, der angiver analyseresultatet i koncentrationsintervaller. I tabel 6.5 er derfor angivet det anslåede gennemsnitlige koncentrationsinterval, dvs. i praksis det interval som er registreret flest gange.

Tabel 6.5 Gennemsnitlig indhold af mikroorganismer i indløbsprøver fra Egå og Marselisborg Renseanlæg. Antal pr. 100 ml.

Mikroorganismer	Egå Renseanlæg	Marselisborg Renseanlæg
<i>E. coli</i>	1,4·10 ⁷	4,3·10 ⁷
Totale coliforme bakterier	3,5·10 ⁷	1,4·10 ⁸
Fæk. enterokokker	4,2·10 ⁵	1,4·10 ⁶
<i>Salmonella</i>	10 ² -10 ³	10 ² -10 ³
<i>Campylobacter</i>	10 ³ -10 ⁴	10 ² -10 ³

6.4.2 Enterovirus

Der er påvist enterovirus i 5 af 6 spildevandsprøver fra indløbsmålestationen ved Egå Renseanlæg. Der er påvist enterovirus i 3 af 6 indløbsprøver fra Marselisborg Renseanlæg. De fleste påvisninger er konstateret i 2. målerunde.

⁵ i.a.: Ikke analyseret i råspildevand.

⁶ Indløb til 7 forskellige renselanlæg i det vestlige Skotland.

⁷ Udløb for overløbsbygværk ved regnevej.

6.5 Eksponeringsdosis for urensset spildevand

Der foretages en simpel vurdering af interessante mikroorganismer til identifikation af eksponeringsdosen for urensset spildevand. Der er tale om en konservativ model, som ikke kan sammenlignes med en egentlig risikovurdering. Eksponeringsdosen svarer til den spildevandsmængde, der potentielt skal optages for at medføre sygdom. Der er kun estimeret for de smitstoffer, som der er målt for i denne undersøgelse.

6.5.1 Metodebeskrivelse

Den teoretiske infektiøse dosis divideres med koncentrationen af mikroorganismer i urensset spildevand. Det anvendte koncentrationsinterval er de målte minimum og maksimum koncentrationer fra analyserne fra Egå Renseanlæg og Marselisborg Renseanlæg. Der er for urensset spildevand kun simpelt estimeret for *Salmonella* og *Campylobacter*. Det antages, at alle betydende faktorer, som skal kombineres for at medføre sygdom, er opfyldt (jvf. afsnit 2.3). Målet for denne model er at give et simpelt grundlag for vurdering af interessante mikroorganismer til identifikation af eksponeringsdosen for den pågældende spildevandskvalitet.

Eksponeringsdosen fremgår af tabel 6.6.

Tabel 6.6 Eksponeringsdosis for urensset spildevand.

Mikroorganismer	Infektiøs dosis	Konc. i urensset spildevand, antal/liter	Eksponeringsdosis for urensset spildevand, liter spildevand
<i>Salmonella</i>	100	100 – 10 ⁴	0,01 – 1
<i>Campylobacter</i>	500	100 – 10 ⁵	5·10 ⁻³ – 5

Eksponeringsdosen for urensset spildevand varierer fra 5 milliliter til 5 liter. Alle de anskuede mikroorganismer (*Salmonella* og *Campylobacter*) er således interessante, når de vurderes ved denne simple metode.

7 Hygiejnisk kvalitet af rensed spildevand

I 1990'erne er implementeret et EU-direktiv for rensning af spildevand på større renselanlæg. Direktivet har bevirket, at mange renselanlæg i store dele af Europa fjerner næringsstoffer til et niveau, der er sammenlignelige med danske krav. I det følgende er samlet en række data fra disse anlæg, som må forventes at kunne sammenstilles med resultaterne fra Egå og Marselisborg anlæggene. Det skal her bemærkes, at litteraturen desværre ikke har været detaljeret i redegørelsen for renselanlæggets opbygning og funktion.

Af tabel 7.1 fremgår koncentrationer for smitstoffer i rensed spildevand. Tallene er baseret på både litteraturstudie og det udførte måleprogram. De angivne værdier fra måleprogrammet gengiver det målte koncentrationsinterval. Koncentrationsniveauerne for Egå Renselanlæg er for udløbet før sandfilteret (ER 2). Af bilag B fremgår analyseresultaterne fra måleprogrammet.

Tabel 7.1 Indhold af mikroorganismer i rensed spildevand. RA: Renselanlæg. -: Ingen oplysninger.

Mikroorganismer	Indhold pr. 100 ml rensed spildevand	Metode	Sted	Reference
Bakterier: <i>E. coli</i>	1,4·10 ³ -1,3·10 ⁵ 7,9·10 ⁴ -3,5·10 ⁵ 8·10 ³ 10 ⁴ -10 ⁶ 10 ³ -10 ⁶	DS 2255:1983 " Pladetælling Membr.filt. chrom. Membr.filt. chrom.	Egå RA Marselisb. RA Åbybro RA Rom Lufthavn ⁸ Rom Lufthavn ⁹	(Bjergbæk et al., 2000) (Gabrieli et al., 1997) (Gabrieli et al., 1997)
Fæk. colibakterier (Termotolerante coliforme bakterier)	10 ⁶ 1,3·10 ⁴ -6·10 ⁶	MPN Memb.fil. met.	Rom RA Øst ¹⁰ Kuopio RA i Finland	(Aulicino et al., 1996) (Rajala and Heinonen-Tanski, 1998)
Totale coliforme bakterier	2,4·10 ⁴ -7,9·10 ⁵ 1,1·10 ⁵ -4,9·10 ⁵ 10 ⁶	DS 2255:1983 " MPN	Egå RA Marselisb. RA Rom RA Øst	(Aulicino et al., 1996)
Fæk. enterokokker	2·10 ² -6,9·10 ³ 8·10 ³ -1,3·10 ⁵ 280 1,5·10 ⁴ -5,9·10 ⁶	ISO7899/2 mod, MST98 - Memb.fil. met.	Egå RA Marselisb. RA Tyskland ¹¹ Kuopio RA i Finland	(Marcinek et al., 1998) (Rajala and Heinonen-Tanski, 1998)

⁸ Renselanlægget for Roms Lufthavn, udløb efterklaring.

⁹ Renselanlægget for Roms Lufthavn, afløb fra desinfektionsproces. Processen er ikke specificeret.

¹⁰ Renselanlæg (aktiv slam) i Rom for husspildevand fra ca. 400.000 indbyggere.

¹¹ To renselanlæg i Tyskland, Regensburg (Klärwerk Barbing) og München (Klärwerk Marienhof).

Tabel 7.1 Fortsat. Indhold af mikroorganismer i rensed spildevand. RA: Renseanlæg. -: Ingen oplysninger.

Mikroorganismer	Indhold pr. 100 ml rensed spildevand	Metode	Sted	Reference
<i>Salmonella</i>	i.p. – 1-10 i.p. – 10-100	DS 266:1988,m. "	Egå RA Marselisborg RA	
<i>Campylobacter</i>	1-10 – 10 ³ -10 ⁴ 10-100 10-100	DS met.forslag " Elektronmikro.	Egå RA Marselisb. RA RA i Tyskland	(Höller et al., 1998)
Virus: Enterovirus	i.p. i.p. 0,1-100	PCR PCR MPN	Egå RA Marselisb. RA Rom RA Øst ¹⁰	(Aulicino et al., 1996)
Protozoer: <i>Giardia intestinalis</i>	1,4-3,02 0,36-0,44 0,1-72	Opkonc.,IMS, immunofloures. Flouesc. mikros.	Egå RA Marselisb. RA V. Skotland ¹²	(Bukhari et al., 1997)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0,16-0,82 0-0,08 130 0,0025-1,1 0,001-0,013 1-6 0,005-0,16	Opkonc.,IMS, immunofloures. - IFA-metode IFA-metode Flouesc. mikros. -	Egå RA Marselisb. RA Aktiv slamanlæg USA ¹³ USA ¹⁴ V. Skotland ¹² 67 RA i Japan	(Stenström, 1996) (Rose, 1997) (Rose, 1997) (Bukhari et al., 1997) (Kaneko, 2000)

Koncentrationsniveauerne for afløbene til de to undersøgte renseanlæg svarer generelt til niveauerne angivet i litteraturen. Det målte niveau for *E. coli* og totale coliforme bakterier stemmer overens, idet indholdet af *E. coli* er lavere end totale coliforme bakterier. Indholdet af *Cryptosporidium parvum* i det rensede spildevand fra Egå Renseanlæg ligger dog i den høje ende af niveauet for litteraturen. Endvidere er enterovirus ikke påvist i udløbet fra de to undersøgte renseanlæg.

7.1.1 Bakterier

Det gennemsnitlige indhold af *E. coli*, totale coliforme bakterier og fæk. enterokokker i det rensede spildevand fra udløbsmålestationen ved Marselisborg Renseanlæg og "udløb, før filter"-målestationen ved Egå Renseanlæg er angivet i tabel 7.2.

Tabel 7.2 Gennemsnitlig indhold af mikroorganismer i afløbsprøver fra Egå (før filter) og Marselisborg Renseanlæg. Antal pr. 100 ml.

Mikroorganismer	Egå Renseanlæg	Marselisborg Renseanlæg
<i>E. coli</i>	4,1·10 ⁴	2,0·10 ⁵
Totale coliforme bakterier	2,3·10 ⁵	8,5·10 ⁵
Fæk. enterokokker	2,4·10 ³	2,7·10 ⁴
<i>Salmonella</i>	10	i.p.
<i>Campylobacter</i>	10 ² -10 ³	10-100

(Marcinek et al., 1998) undersøgte indholdet af fæk. enterokokker i udløbet fra to renseanlæg i Tyskland. Indholdet af fækale enterokokker i udløbet er

¹² Udløb fra 7 renseanlæg i det vestlige Skotland.

¹³ Renseanlæg i USA, udløb efterklaring.

¹⁴ Renseanlæg i USA, afløb fra sandfilter.

sammenlignelig med Egå Renseanlæg. Der er konstateret 280 fæk. enterokokker pr. 100 ml ved de tyske renseanlæg.

7.1.1.1 Prøvemængde

For nogle prøver har der ikke kunnet påvises indhold af enkelte smitstoffer i de valgte prøvevoluminer. Sådanne prøver kan naturligvis indeholde smitstoffer men i begrænset mængde. Kun ved anvendelse af større prøvevoluminer kan der opnås en mere sikker bestemmelse af koncentrationsniveauet. Der er således for en enkelt prøve af rensed spildevand fra Egå Renseanlæg konstateret, at *Salmonella* ikke kan påvises i 10 ml prøvevolumen, men påvist i 100 ml, hvilket betyder at indholdet kan være op til 10 pr. 100 ml. Det samme er konstateret for en udløbsprøve fra Egå Renseanlæg analyseret for *Campylobacter*, for to prøver analyseret for *Salmonella* og en prøve analyseret for *Campylobacter* fra udløbet ved Marselisborg Renseanlæg.

7.1.2 Enterovirus

Der er ikke påvist enterovirus i udløbsprøverne fra hverken Egå Renseanlæg eller Marselisborg Renseanlæg ved målerunderne. (Gabrieli et al., 1997) angiver, at enterovirus er påvist i 30% og 20% af prøverne udtaget hhv. efter iltningprocessen og efter desinfektionsprocessen ved renseanlægget for Rom Lufthavn. Enterovirus kan således gå gennem et renseanlæg og udledes til recipienten, som undersøgelsen ved Rom Renseanlæg Øst af (Aulicino et al., 1996) viste.

7.1.3 Protozoer

Med hensyn til protozoer kan samlet for begge undersøgelsesrunder af det rensede spildevand konkluderes, at der er påvist såvel *Giardia* som *Cryptosporidium*. *Giardia* i et højt antal. Indholdet af *Giardia* cyster og *Cryptosporidier* oocyster i spildevandet må være påvirket af et antal inficerede mennesker og dyr, der er tilknyttet renseanlæggene. Signifikant højere påvisning af *Giardia* end *cryptosporidier* i spildevandet ved Egå og Marselisborg Renseanlæg kan tyde på infektion intensitet, zoonotisk infektion eller en underrapportering af human giardiose i området. Sidstnævnte er givetvis mest relevant, da giardiose generelt diagnosticeres i mindre grad end cryptosporidiose. Samtidig kan det skyldes, at *Giardia* ikke er anmeldeligt. Med henblik på vurdering af evt. tilstedeværelse af viable *cryptosporidieoocyster* blev gennemført en viabilitetstest på de to prøver med højest forekomst af *cryptosporidier* samt for alle prøverne udtaget i forbindelse med undersøgelse af effekten af sandfilteret. De var alle udtaget før filteret på Egå Renseanlæg. Der fandtes viable oocyster i alle prøver. Fundet af viable *cryptosporidieoocyster* betyder, at de vil være infektionsdygtige og dermed udgøre en potentiel smitterisiko ved spredning i miljøet.

Antallet af oocyster er for lavt til, at en procentvis fordeling af viable/døde oocyster kan bestemmes med sikkerhed. Hertil burde være mindst 100 oocyster pr. 10 l vand.

7.2 Eksponeringsdosis for rensed spildevand

Der foretages en simpel vurdering af interessante mikroorganismer til identifikation af eksponeringsdosen for urensed spildevand. Der er tale om en konservativ model, som ikke kan sammenlignes med en egentlig

risikovurdering. Eksponeringsdosen svarer til den spildevandsmængde, der potentielt skal optages for at medføre sygdom. Der er kun estimeret for de smitstoffer, som der er målt for i denne undersøgelse.

7.2.1 Metodebeskrivelse

Den teoretiske infektiøse dosis divideres med koncentrationen af mikroorganismer i rensed spildevand. Det anvendte koncentrationsinterval er de målte minimum og maksimum koncentrationer fra analyserne fra Egå Renseanlæg og Marselisborg Renseanlæg. Der er for rensed spildevand simpelt estimeret for *Salmonella*, *Campylobacter*, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum*. Det antages, at alle betydende faktorer, som skal kombineres for at medføre sygdom, er opfyldt (jvf. afsnit 2.3). Målet for denne model er at give et simpelt grundlag for vurdering af interessante mikroorganismer til identifikation af eksponeringsdosen for den pågældende spildevandskvalitet.

Eksponeringsdosen fremgår af tabel 7.3.

Tabel 7.3 Eksponeringsdosis for rensed spildevand.

Mikroorganismer	Infektiøs dosis	Konc. i rensed spildevand, antal/liter	Eksponeringsdosis for rensed spildevand, liter spildevand
<i>Salmonella</i>	100	$10 - 10^3$	0,1 - 10
<i>Campylobacter</i>	500	$10 - 10^5$	0,005 - 50
<i>Giardia intestinalis</i>	100	3,6 - 30	3,3 - 28
<i>Cryptosporidium parvum</i>	10	0,8 - 8,2	1,2 - 12,5

Eksponeringsdosen for rensed spildevand varierer fra ca. 5 milliliter til 50 liter. De interessante mikroorganismer af de anskuede mikroorganismer ved denne simple metode for rensed spildevand er *Salmonella* og *Campylobacter*.

8 Fjernelse af smitstoffer i offentlige renselanlæg

Det forventes, at følgende mekanismer er fremherskende for fjernelsen af smitstoffer i renselanlæg:

- Sedimentation
- Biologisk omsætning
- Hydrolyse
- Predation
- Filtrering
- UV-stråling.

Renselanlæg efterlader smitstofferne forholdsvis udsat for eksponering for lys i bassinerne. Virus og bakterier vil primært adhædere til spildevandets indhold af partikulært materiale. De vil derfor sedimentere sammen med partiklerne. Protozoer har ofte en vægtfylde, som gør, at sedimentationen foregår langsomt således at disse derfor ofte genfindes i det rensede spildevand (Nickelsen og Kristensen, 1991).

Af tabel 8.1 fremgår de fundne og beregnede rensegrader for bakterier og virus i renselanlæg. De angivne rensegrader er beregnede middelværdier. Rensegraden for Egå Renselanlæg er beregnet som forskellen mellem indløb på renselanlægget og spildevandet før filteret. Derudover fjernes også smitstoffer over sandfilteret.

Det har ikke været muligt at beregne en rensegrad for protozoerne gennem de to renselanlæg, da disse kun er målt i udløbet, og ved prøvestationen ”før filteret” på Egå Renselanlæg. Der har således kun været muligt at vurdere fjernelsen over sandfilteret på Egå Renselanlæg.

Fjernelsen af *Salmonella* og *Campylobacter* angives i intervalkoncentrationer i 100 ml (jvf. Bilag B) i figurer efter tabellen.

Tabel 8.1 Rensegrad for patogener i renseanlæg. Beregnede resultater fra måleprogrammet og fra litteraturstudiet.

Mikroorganismer	Rensegrad i renseanlæg (%)	Renseanlæg	Reference
Bakterier: <i>E. coli</i>	99,6 99,1 99,8 92-96	Egå Marselisborg Åbybro Rom Lufthavn	 (Bjergbæk et al., 2000) (Gabrieli et al., 1997)
Fæk. colibakterier (Termotolerante coliforme bakterier)	93	Rom RA Øst	(Aulicino et al., 1996)
Totale coliforme bakterier	99,6 99,5 94	Egå Marselisborg Rom RA Øst	 (Aulicino et al., 1996)
Fæk. enterokokker	99,8 95,8 99,9	Egå Marselisborg Tyskland ¹⁵	 (Marcinek et al., 1998)
<i>Campylobacter</i>	99	Holland (aktiv slam anlæg)	(Koenraad et al., 1994)
Virus: Enterovirus	75 ¹⁶	Rom RA Øst	(Aulicino et al., 1996)
<i>Poliovirus 1</i>	98	Japan ¹⁷	(Kaneko, 1997)
<i>Coxsackievirus B3</i>	93	Japan ¹⁷	(Kaneko, 1997)
Protozoer: <i>Giardia intestinalis</i>	93 og 99,3 97,9 83 92 94,7 91 87	USA (aktiv slam proces) USA (sandfil. & alu. tilsæt.) V. Skotland (akt. slam pro.) V. Skotland (bio-, sandfilt) V. Skotland (biofilt, lagune) V. Skotland (overfl.beluft & -filter) V. Skotland (biofilter)	(Rose, 1997) (Rose, 1997) (Bukhari et al., 1997) " " " "
<i>Cryptosporidium parvum</i>	90,7 og 92,8 99,7 99 96,8 88	USA (RA efter akt. slam pro.) USA (RA efter sandfilter) USA (RA, sandfil. & alu. tilsæt.) USA (fuld akt. slam behandl.) V. Skotland (biofilter)	(Rose, 1997) " " " " (Bukhari et al., 1997)

Behandling af spildevand i renseanlæg med en procesopbygning som MBNKD reducerer generelt indholdet af smitstoffer i stor grad. Reduktionen af *E. coli* for de to undersøgte renseanlæg (MBNKD) svarer til den forventede reduktion (1/100 - 1/1.200) angivet i afsnit 4.1.1.2. For Egå Renseanlæg med sandfilter (MBNKDF) svarer reduktionen af *E. coli* også til den forventede reduktion (1/125 - 1/11.250) angivet i afsnit 4.1.1.3.

Det skal dog bemærkes, at de høje rensegrader ikke er ensbetydende med, at der ikke findes smitstoffer i udløbsvandet.

¹⁵ Tal fra to renseanlæg i Tyskland, Regensburg (Klärwerk Barbing) og München (Klärwerk Marienhof).

¹⁶ Gennemsnitlig renseeffekt for 8 analyser ved renseanlægget for Rom Øst, 400.000 indbyggere.

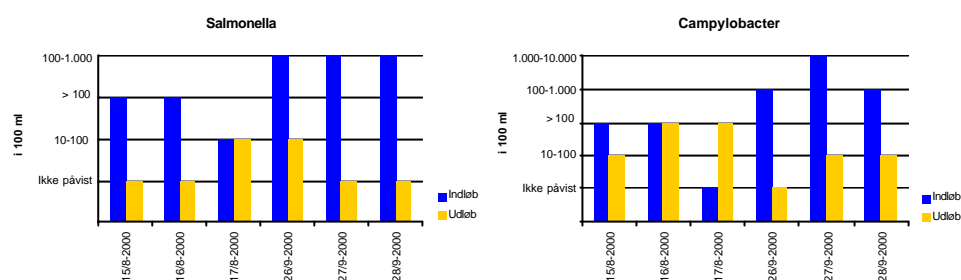
¹⁷ Minirensanlæg (Johkasou) drives som "anaerobt kontaktfiltet med beluftsproce" og består af 4 trin fordelt som primær og sekundær anaerob zone, 1 aerob zone med kontakt medie og 1 sedimentationszone.

8.1.1 Bakterier

Egå og Marselisborg Renseanlæg udviser gode reduktioner af smitstoffer i forhold til renseanlæggene i litteraturen. Egå Renseanlæg har vist gennemsnitlige rensegrader varierende mellem 99,6-99,8% for bakterierne. Marselisborg Renseanlæg har præsteret gennemsnitlige rensegrader for bakterierne varierende fra 95,8% til 99,5%. Begge renseanlæg har dog generelt udvist en dårligere renseeffektivitet for alle smitstoffer i 2. målerunde end i 1. målerunde. Det kan hænge sammen med driftsforholdene i denne periode, hvor der var betydelige mængder nedbør, som medførte en dårligere rensning som følge af en mindre opholdstid i efterklaringstankene.

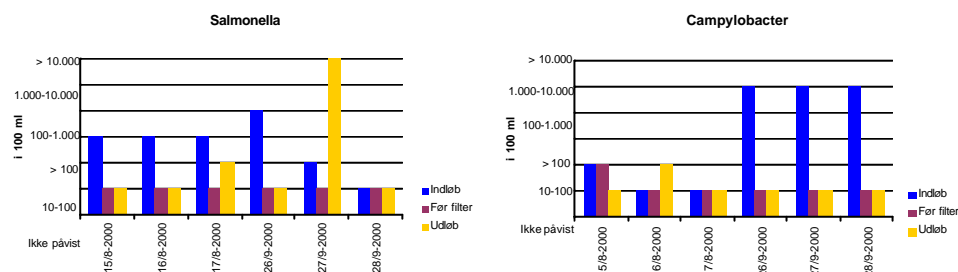
8.1.1.1 *Salmonella* og *Campylobacter*

Figur 8.1 angiver fjernelsen af *Salmonella* og *Campylobacter* i Marselisborg Renseanlæg.



Figur 8.1 Indhold af *Salmonella* og *Campylobacter* i indløbs- og udløbsvand i Marselisborg Renseanlæg.

Figur 8.2 angiver fjernelsen af *Salmonella* og *Campylobacter* i Egå Renseanlæg.



Figur 8.2 Indhold af *Salmonella* og *Campylobacter* i indløbs- og udløbsvand samt før sandfil teret i Egå Renseanlæg.

Antallet af *Campylobacter* reduceres gennem Marselisborg Renseanlæg, men fjernes generelt ikke fuldstændigt til detektionsgrænsen. *Salmonella* fjernes eller reduceres i stor grad ved biologisk rensning ved begge renseanlæg. *Campylobacter* fjernes, således de ikke er påvist, ved Egå Renseanlæg. *Salmonella* og *Campylobacter* i Egå Renseanlæg er reduceret med gennemsnitlig faktor på hhv. 10^3 og 10^4 svarende til rensegrader på hhv. ca. 99,9% og 99,99%. Tilsvarende er begge bakterier reduceret i Marselisborg Renseanlæg med en faktor 10^3 . (Koenraad et al., 1994) angiver en reduktion for *Campylobacter* på en faktor 10^2 svarende til ca. 99% for hollandske aktiv slamanlæg.

8.1.2 Enterovirus

Enterovirus fjernes gennem både Egå og Marselisborg Renseanlæg, idet disse er påvist i indløbet, men ikke i udløbet. Fjernelse af enterovirus (*Poliovirus 1* og *Coxsackievirus B3*) i det japanske minirenselanlæg (Johkasou) forbedres, jo lavere slambelastningen er. Endvidere er rensegraden afhængig af opholdstiden i procestankene samt mikroorganismernes evne til at inaktivere virus i de respektive tanke (Kaneko, 1997). (Aulicino et al., 1996) angiver, at reduktionen af enterovirus i renselanlæg til husspildevand er varierende, fra 30-99,5% med en gennemsnitlig fjernelse på 75%.

8.1.3 Protozoer

Litteraturen angiver rensegrader for *Giardia intestinalis* på mellem 83 og 99,3% for aktiv slamanlæg. Rensegrader for *Cryptosporidium parvum* er i litteraturen angivet mellem 90,7 og 96,8% på aktiv slamanlæg.

8.1.4 Driftsforhold

De gennemsnitlige rensegrader for de gængse spildevandsparametre er til sammenligning med fjernelsen af smitstofferne vist i tabel 8.2. Herved kan fjernelsen af smitstofferne relateres til fjernelsen af stofferne i renselanlægget og forventningerne om adhæsion til partikulært materiale verificeres.

Tabel 8.2 Gennemsnitlige rensegrader for kemiske stoffer.

Parameter	Enhed	Marselisborg Renseanlæg	Egå Renseanlæg
COD	%	94,9	93,5
Tot-N	%	89,9	92,0
Tot-P	%	74,8	92,1

Fjernelsesgraden af organisk stof (COD) svarer til fjernelsen af bakterier. Dette stemmer overens med, at enterovirus og bakterier adhæderer sig til det suspenderede organiske stof.

Som tidligere nævnt har begge renselanlæg udvist dårligere renseeffekt for smitstoffer i 2. målerunde end i 1. målerunde. Tilsvarende har været tilfældet for COD, Tot-N, Tot-P og SS. Der har netop i 2. målerunde været større hydraulisk belastning af renselanlæggene som følge af betydelig nedbør. Dermed er opholdstiden i efterklaringstankene mindre og rensningen dårligere. Dette indikerer således, at slamflugt som forventet medfører en øget hygiejnisk forurening af recipienten.

8.2 Effekt af sandfilter på Egå Renseanlæg

Funktionen af sandfilteret på Egå Renseanlæg er undersøgt ved måling af en del af smitstofferne før og efter filter. Af bilag B fremgår analyseresultaterne fra måleprogrammet.

Der er efter de to oprindelige målerunder foretaget yderligere undersøgelser af fjernelsen over filteret. Denne målerunde foregik onsdag den 15/11-2000 og indeholdt prøveudtagning før og efter sandfilteret over en 5-timers periode med udtagning hver time - i alt 10 analyser.

Niveauet for indholdet af smitstoffer i rensed spildevand udtaget efter sandfilteret på Egå Renseanlæg (ER 3) samt renseeffektiviteten over filteret fremgår af tabel 8.3.

Tabel 8.3 Indhold af mikroorganismer i rensed spildevand udtaget efter sandfilteret samt renseeffektivitet over filteret.

Mikroorganismer	Indhold pr. 100 ml sandfiltereret spildevand	Rensegrad, % gennemsnit	Metode
Bakterier:			
<i>E. coli</i>	400-2,4·10 ⁴	82,2	DS 2255:1983
Totale coliforme bakterier	3,3·10 ³ -3,5·10 ⁴	82,8	DS 2255:1983
Fæk. enterokokker	100-500	72,5	ISO7899/2 mod -MST98
<i>Salmonella</i>	i.p. - >10 ⁴	-	DS 266:1988,mod
<i>Campylobacter</i>	i.p. - 10-100	-	DS forslag
Virus:			
Enterovirus	i.p.	-	PCR
Protozoer:			
<i>Giardia intestinalis</i>	0-0,64	91	Opkonc.,IMS, immunoflouesc.
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0,01-0,20	63	Opkonc.,IMS, immunoflouesc.

8.2.1 Bakterier

Det gennemsnitlige indhold af *E. coli*, totale coliforme bakterier, fæk. enterokokker er bestemt til hhv. ca. 7·10³, 2·10⁴ og 330 pr. 100 ml. Der fjernes ca. 82, 83 og 73% af henholdsvis *E. coli*, totale coliforme bakterier og fæk. enterokokker ekstra over sandfilteret fra det efterklarede spildevand (efterklaringsfunktion).

Salmonella er reduceret efter sandfilteret til gennemsnitlig <1 pr. 100 ml, hvilket svarer til ca. 10 gange reduktion over sandfilteret. *Campylobacter* er gennemsnitligt fjernet efter sandfilteret (til detektionsgrænsen). Der er dog som maksimal indhold målt 10-100 *Campylobacter* pr. 100 ml vand.

For Egå Renseanlæg er rensegraderne bestemt mellem indløbet til efter sandfilter (MBNKDF) til hhv. 99,80%, 99,88% og 99,90% for *E. coli*, totale coliforme bakterier og fæk. enterokokker.

En indsættelse af et sandfilter vil derfor kunne medvirke til en yderligere reduktion af udledningen af sygdomsfremkaldende bakterier fra kommunale renseanlæg.

8.2.2 Enterovirus

Fjernelsen af virus over sandfilteret kan ikke vurderes, da enterovirus allerede var fjernet før filteret.

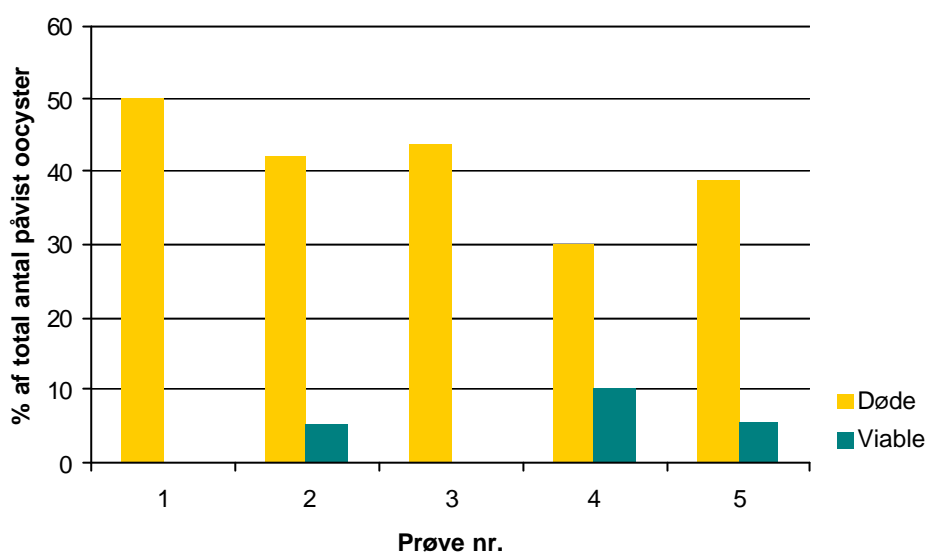
8.2.3 Protozoer

Det er ikke muligt at vurdere fjernelsen af *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* over filteret i 1. målerunde, da der er kun målt for disse protozoer i udløbet og ikke før filteret. I 2. målerunde blev protozoerne målt både før og efter sandfilteret på Egå Renseanlæg. Der ses en betydelig nedgang i antallet af *Giardia intestinalis* over filteret, hvorimod der ikke ses den samme reduktion i antallet af *Cryptosporidium parvum*. Dette kan skyldes,

at *Giardia* cysterne er større end *Cryptosporidium* oocysterne og derfor tilbageholdes bedre i filteret.

Den dårligere fjernelse af *Cryptosporidium parvum* stemmer overens med at (Stenström, 1996) anfører, at *Cryptosporidium parvum* generelt er sværere at filtrere væk end andre parasitter. Dog angiver (Rose, 1997) udløbskoncentrationer af *Cryptosporidium parvum* efter sandfilter ved renseanlæg i USA til gennemsnitlig 0,04 (0,001-0,013) pr. 100 ml. Efter aktiv slam processen angives gennemsnitskoncentrationen til 1,4 (0,0025-1,1) oocyster pr. 100 ml. Sandfilteret reducerer således med ca. 60-98,8%.

Der har også været udført test for tilstedeværelse af viable cryptosporidier i prøverne fra de yderligere undersøgelser. Figur 8.3 viser %-delen af det totale antal påviste oocyster fra prøver efter sandfilteret, som var hhv. døde og viable.



FIGUR 8.3 FORDELING AF DØDE OG VIABLE OOCYSTER VED VIABILITETSTESTEN.

Det gennemsnitlige procent af hhv. døde og viable oocyster af det totale antal påviste oocyster var hhv. 41% og 4%. De viable cryptosporidier vil være infektionsdygtige og kan dermed udgøre en vis smitterisiko ved spredning i miljøet.

Det gennemsnitlige procent af hhv. døde og viable oocyster af det totale antal påviste oocyster var hhv. 35% og 18% for prøver udtaget før sandfilteret.

Indsættelse af et sandfilter vil således kunne medvirke til at reducere andelen af viable mikroorganismer i det rensede spildevand, dog vil en del af de udledte mikroorganismer være infektionsdygtige.

8.2.4 Driftsforhold

Den samtidige gennemsnitlige fjernelse af suspenderet stof og organisk stof (COD) over filteret er henholdsvis 74 og 16% samt 23 og 37% for hhv. Tot-N og Tot-P. Fjernelsesmekanismen er en tilbageholdelse af partikulært materiale (jvf. afsnit 4), hvorfor fjernelsen af bakterier primært skal relateres til

suspenderet stof. Der ses en sammenhæng mellem fjernelsen af suspenderet stof samt *E. coli* og totale coliforme bakterier.

8.3 Infektionsdosis af rensed sandfiltreret spildevand

Der foretages en simpel vurdering af interessante mikroorganismer til identifikation af eksponeringsdosen for rensesandfiltreret spildevand. Der er tale om en konservativ model, som ikke kan sammenlignes med en egentlig risikoanalyse. Eksponeringsdosen svarer til den spildevandsmængde, der potentielt skal optages for at medføre sygdom. Der er kun estimeret for de smitstoffer, som der er målt for i denne undersøgelse.

8.3.1 Metodebeskrivelse

Den teoretiske infektiøse dosis divideres med koncentrationen af mikroorganismer i rensed sandfiltreret spildevand. Det anvendte koncentrationsinterval er de målte minimum og maksimum koncentrationer fra analyserne fra Egå Renseanlæg og Marselisborg Renseanlæg. Der er for rensed sandfiltreret spildevand simpelt estimeret for *Salmonella*, *Campylobacter*, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum*. Det antages, at alle betydende faktorer, som skal kombineres for at medføre sygdom, er opfyldt (jvf. afsnit 2.3). Målet for denne model er at give et simpelt grundlag for vurdering af interessante mikroorganismer til identifikation af eksponeringsdosen for den pågældende spildevandskvalitet.

Eksponeringsdosen fremgår af tabel 8.4.

Tabel 8.4 Eksponeringsdosis for rensed sandfiltreret spildevand.

Mikroorganismer	Infektiøs dosis	Konc. i sandfiltreret spildevand, antal/liter	Eksponeringsdosis for sandfiltreret spildevand, liter spildevand
<i>Salmonella</i>	100	10	10
<i>Campylobacter</i>	500	10 ³	0,5
<i>Giardia intestinalis</i>	100	6,4	16
<i>Cryptosporidium parvum</i>	10	0,1 - 2	5 - 100

Eksponeringsdosen for rensed sandfiltreret spildevand varierer fra ca. 0,5 liter til 100 liter. Den interessante mikroorganismer af de anskuede mikroorganismer ved denne simple metode for rensed sandfiltreret spildevand er således *Campylobacter*.

9 Hygiejnisk kvalitet af recipienter, grundvand og drikkevand

Der er foretaget et litteraturstudie af forekomsten af de valgte mikroorganismer i overfladevand og i råvand/grundvand. Resultaterne af studiet fremgår af tabel 9.1. Ved overfladevand forstås både søer, vandløb og havet.

Tabel 9.1 Indhold af mikroorganismer i overfladevand og grundvand.

Mikroorganismer	Indhold pr. 100 ml	Vandtype	Metode	Land	Reference
Bakterier: <i>E. coli</i>	2	Drikkevand	PCR	Norge(Oslo)	(Waage et al., 1999)
	1.900	Lille bæk	PCR	"	"
	240	Middel vandløb	PCR	"	"
	>1.500	Flod(ferskv.)	Colilert-18, MPN	USA (Fl.)	(Solo-Gabriele et al., 2000)
	47-2.000	Flod	PCR	Norge(Oslo)	(Waage et al., 1999)
10 ³ -10 ⁴	Bygholm Å ¹⁸	DS 2255	Horsens	(Nielsen et al., 1996)	
50-1.200	Ferskvand ¹⁹	TSA/TBA	Holland	(Medema et al., 1997)	
Termotol. coliforme bakterier (Fæk. colibakterier)	15-42.400	Vandløb ²⁰	Memb.fil. met.	USA	(Hagedorn et al., 1999)
	0-6.500	Råvand	Memb.fil. met.	USA	(LeChevallier et al., 1996)
	1-2.420	Sø ²¹	Memb. fil. met.	Finland	(Rajala and Heinonen-Tanski, 1998)
Totale coliforme bakterier	1-22.623	Råvand	Memb.filt met.	USA	(LeChevallier et al., 1996)
	2	Drikkevand	PCR	Norge	(Waage et al., 1999)
	60-10 ⁴	Flod	PCR	Norge	"
	2.400 800	Lille bæk Middel vandløb	PCR PCR	Norge Norge	" "
Fæk. enterokokker	10-350	Ferskvand ¹⁹	Kenner fækal. agar	Holland	(Medema et al., 1997)
	6-1.560	Sø ²¹	Memb. fil. met.	Finland	(Rajala and Heinonen-Tanski, 1998)

¹⁸ Bygholm Å i Horsens Kommune er recipient for renseanlæg og løber til Horsens fjord.

¹⁹ Målinger i ferskvandskanaler, -søer og -floder, som er påvirket af rensede spildevandsudledninger og drænvand fra landbrug.

²⁰ Tallene er for de mest forurenede steder i Page Brook vandskellet, som er påvirket af både underjordiske septiske tanke fra 127 boliger, kvægbrug og en stor vildt population.

²¹ Søen er recipient for renseanlæg af spildevand (Kuopio) og anvendes samtidig til indvinding af drikkevand og rekreative formål.

Tabel 9.1 Fortsat. Indhold af smitstoffer i overfladevand og grundvand.

Mikroorganis- mer	Indhold pr. 100 ml	Vandtype	Metode	Land	Reference
<i>Campylo- bacter</i>	1,1-100	Div. overfl. vand	Elektronm ikro.	Tyskland	(Höller et al., 1998)
	10-230	Flod	-	England NV	(Gleeson and Gray, 1997)
Virus: Enterovirus	<0,001- 0,009	Ferskvand ¹⁹	BGM cells	Holland	(Medema et al., 1997)
Protozoer: <i>Giardia intestinalis</i>	0-0,23	Råvand	PI teknik	Canada	(Wallis et al., 1996)
	0,0001-2,2	Råvand	Immunofl ouresc.	V. Canada	(Isaac-Renton et al., 1995)
	0,0003-0,37	Klorrenset råv.	"	V. Canada	"
	0,002-0,019	Hanevand	"	V. Canada	"
	0,005-0,078	Vandløb	Filt., flour- esc.	Israel	(Zuckerman et al.,1997)
	0-0,375	Vandløb	Direct flour.	New Zealand	(Ionas et al., 1998)
	0,013-6,6	Vandløb (tørvej)	IFA- metode	USA	(Gibson III et al., 1998)
<i>Crypto- sporidium parvum</i>	500	Vandingskanal/ kreaturområde	-	-	(Stenström, 1996)
	0,037-1,463	Rå ovfl.vand	IMS, PCR	USA	(Giovanni et al., 1999)
	0,037-0,556	Filter backwash	IMS, PCR	USA	"
	1-23	Havvand	Flouresc. mikr.	USA	(Fayer et al., 1998)
	0,0001-192	Overfl.vand ²²	IFA- metode	USA	(Rose, 1997)
	580	Overfl.vand ²³	"	USA	"
	0,0004- 0,092	Grundvand	"	USA	"
	0,0001-0,05	Beh. drik.vand	"	USA	"
	0,002-0,04	Havvand	"	USA	"
0,004-0,19	Vandløb	Filt., flouresc.	Israel	(Zuckerman et al.,1997)	
0-0,1	Vandløb	Direct flouresc.	New Zealand	(Ionas et al., 1998)	
0,005-0,105	Vandløb (tørvej)	IFA- metode	USA	(Gibson III et al., 1998)	

Målinger fra 1997 viste, at de fynske vandløb i gennemsnit har et indhold på 500-1.000 *E. coli*/100 ml. Til sammenligning er bakterieindholdet i det fynske badevand som middel på under 10 *E. coli*/100 ml (Fyns Amt, 1999).

9.1 Krav til badevandskvalitet

De danske krav til badevandskvalitet er beskrevet i Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelser nr. 292 af 23. juni 1983 om badevand og badestrande, og nr. 99 af 15. februar 1999 om ændring af bekendtgørelse om badevand og badestrande. De danske regler er en implementering af EU's badevandsdirektiv. De danske krav til badevandets kvalitet er generelt strengere end EU's krav.

Af tabel 9.2 fremgår kravværdierne for bakterier i badevand.

²² Overfladevandet er påvirket af menneskelige aktiviteter.

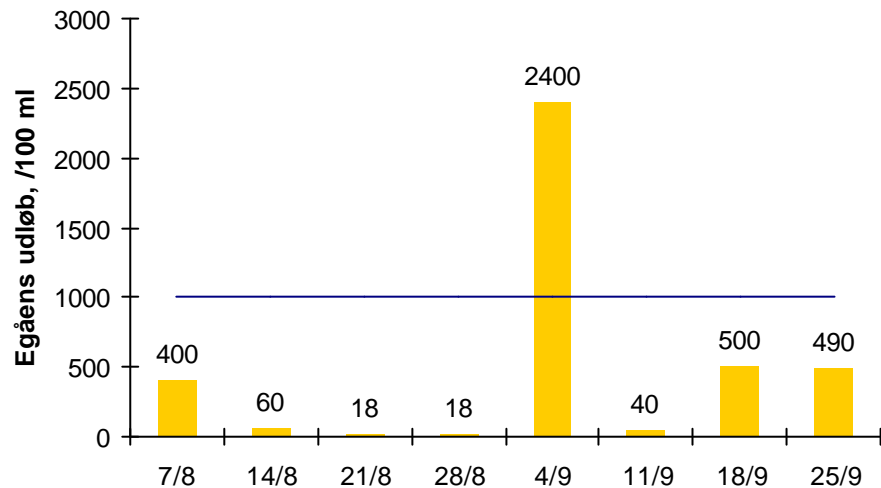
²³ Overfladevandet tilføres vand fra landbrugsdræn.

Tabel 9.2 Grænseværdier for bakterier i badevand. (MEM, 1999) og (EF, 1975)

	<i>E. coli</i> pr. 100 ml vand	Coliforme bakterier pr. 100 ml vand
Danske krav Må højst overskrides i 5% af tiden	1.000	10.000
EU krav Højst 5% af prøver må overskride kravet	2.000	10.000
EU retningslinieværdier Vejledende værdier	100	500

9.2 Egåen

Der er i øjeblikket badeforbud ved udløbet af Egåen og 150 m syd herfor mod tidligere 100 m syd for Egåen. Der udtages 20 badevandsprøver pr. år i perioden fra maj til oktober ved Egåens udløb. Målinger af *E. coli* ved Egåens udløb til Århus Bugt i forbindelse med kontrollen af badevandskvaliteten viste et indhold på ca. 18 *E. coli*/100 ml den 21/8-2000 (4 dage efter 1. målerunde) samt 490 *E. coli*/100 ml den 25/9-2000 (dagen før 2. målerunde). På figur 9.1 ses resultatet af Århus Kommunes badevandskvalitets målinger.



Figur 9.1 Badevandskvalitet (*E. coli*) ved Egåens udløb i august-september 2000 (Århus Kommune, 2000). Vandret linie angiver det danske krav.

Middelindholdet af *E. coli* for august-september 2000 ved Egåens udløb er 490 pr. 100 ml. I forhold til koncentrationsniveauerne fundet ved litteraturstudiet svarer dette til den lavere ende af koncentrationsintervallet.

Spildevandet fra overløbsbygværker ved Egåen er efter Århus Kommunes vurdering årsag til, at badevandskriterierne ikke overholdes. I tørvejrperioderne overholdes grænseværdierne problemfrit.

10 Regnbetingede udledninger

I Danmark anvendes to typer af kloaksystemer, separat systemer og fællessystemer. I fællessystemer ledes spildevand og regnvand i samme ledningssystem. Ved separatsystemer udføres der to adskilte ledningssystemer, et for spildevand og et for regnvand.

Den offentlige regulering af afløbssystemerne har i en årrække betydet en faldende stofbelastning under regn. Der er etableret forsinkelsessystemer som regnbassiner, reguleringsystemer og vedligeholdelsessystemer samt enkelte steder egentlige rensesystemer for overløbsvandet. Disse forsinkelsessystemer har til formål at udligne spidsbelastninger på renselanlæggene for at opnå en bedre drift. Forsinkelses- og aflastningsbassiner anvendes også ved overløbsbygværker for at beskytte recipienten mod overløbsvand. Først når bassinerne er fyldt op vil afløbsvandet via overløbet løbe direkte til recipienten.

10.1 Separat system

I separate regnvandsledninger bidrager bl.a. dyreekskrementer til den mikrobiologisk forurening af vandet, idet der sker en overfladeafstrømning fra befæstede arealer. Endvidere kan fejkoblede ledninger på regnvandsledningen bidrage til forureningen af recipienten ved direkte udledning af regnvand.

10.2 Fællessystem

Tørvejrstrømmen i fællessystemer består af spildevand og indsivningsvand. Denne vandføring er lille i forhold til den maksimale regnvandsbelastning.

10.3 Overløbsbygværker

Overløbsbygværker på fællessystemer har til formål at sikre renselanlæggene en hensigtsmæssig drift. Ved stor tilledning af overfladevand kan kloakledningernes kapacitet overskrides, hvorfor den overskydende vandmængde via overløbsbygværket ledes urensset til recipienten. Overløbsbygværker (aflastningsbygværker) på fællessystemer træder ofte i funktion, når tilstrømningen til bygværket bliver 2 – 10 gange større end den maksimale spildevandsmængde.

Overløbsvands sammensætning kan i praksis variere betydeligt. Ved kraftige regnskyl vil sammensætningen i starten af afstrømningsforløbet blive påvirket væsentligt af afskyllet materiale fra befæstede arealer og bundfældet materiale fra ledningssystemet. Koncentrationen af forureninger i overløbsvand er således størst i den første del af afstrømningen (first-flush).

Sammensætningen afhænger af intensiteten og varigheden af nedbørshændelsen, spildevandsbelastningen, opbygningen og kapaciteten af afløbssystemet.

(Gibson III et al., 1998) har registreret koncentrationsintervaller for *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* for spildevand fra overløbsbygværker i regnvejr i USA til hhv. 9-283 og $0,25-10^8$ pr. 100 ml urensset spildevand. Koncentrationsniveauerne for begge protozoer svarer til indholdet i urensset spildevand (jvf. tabel 6.4). Det fremgår ikke, hvornår prøverne er udtaget, blot at de er udtaget under regnhændelserne. Det angives endvidere, at indholdet af *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* i overløbsvandet var hhv. ca. 13 og 8 gange større end indholdet i recipienten under regnhændelsen. Det indikerer, at udledningen fra overløbsbygværker kan medvirke til forøget mikrobiologisk forurening i recipienten.

(Jagals, 1997) har angivet koncentrationsniveauer af fækale colibakterier og fæk. enterokokker i spildevand fra overløbsbygværker i både tørvejrssæson, i torden- og regnvejr, målt i Sydafrika. Området, hvor analyserne er udtaget, er serviceret af et "raffineret kloakerings- og overløbsbygværks system" - fællessystem. Af tabel 10.1 fremgår koncentrationsintervallerne og den målte middelkoncentration. Det fremgår ikke, hvornår prøverne fra regnvejr er udtaget, blot at de er udtaget under regnhændelserne.

Tabel 10.1 Overløbskoncentrationer for fækale coliforme og fækale enterokokker i tørvejr og regnvejr. (Jagals, 1997)

/100 ml	Tørvejr	Regnvejr
Fækale colibakterier	$6,5 \cdot 10^3 - 5,0 \cdot 10^4$ $2,4 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^3 - 6,3 \cdot 10^4$ $4 \cdot 10^4$
Fæk. enterokokker	$500 - 5,6 \cdot 10^3$ $2,8 \cdot 10^3$	$750 - 2,5 \cdot 10^4$ $9,6 \cdot 10^3$

Den højere koncentration af overløbsspildevandet i regnvejr er givetvis forårsaget af spuling af befæstede arealer, suspension og afrivning af biofilm inkl. bakterier i fællessystemet.

10.3.1 Fortynding af smitstoffer

En fortynding af spildevandet i fællessystemer medfører ikke væsentlige ændringer i koncentrationen af smitstofferne i forhold til den koncentration, som er i det urensede spildevand. Koncentrationen efter fortyndingen vil stadig være væsentlig større end den infektiøse dosis (jvf. tabel 2.1). Udledning via et overløbsbygværk vil derfor udgøre en væsentlig belastning af det pågældende akvatiske miljø med mikroorganismer.

10.3.2 Regneeksempel

Dette er anskueliggjort ved følgende simple regneeksempel af et fællessystem, hvor opspædningen er sat til 1+5 svarende til værst tænkelige situation. En regnbyge forårsager, at der i et overløbsbygværk løber 100 l spildevand over overløbskanten per sekund. Heraf er 17 l/s urensset spildevand. Dermed svarer til en fortynding af det urensede spildevand til en faktor 6.

Det antages, at *E. coli* koncentrationen i urensset spildevand er $1 \cdot 10^8$ pr. l. Koncentrationen i overløbsvandet er derfor $1,7 \cdot 10^7$ pr. l. Denne koncentration er betydelig og svarer stadig til koncentrationen af urensset spildevand fra mindre bysamfund. Denne mængde kan udgøre en sundhedsmæssig risiko ved udledning til badeområder.

Der er i beregningen i øvrigt forudsat, at regnvandet ikke har medført resuspension og afrivning af biofilm indeholdende bakterier samt at der ikke er

medskyllet ekskrementer ved overfladeafstrømningen. Det er faktorer, som vil forøge forureningsgraden af spildevandet.

11 Konklusion

11.1 Hygiejnisk kvalitet af spildevand

Resultaterne fra måleprogrammet mht. den hygiejniske kvalitet er vist i tabel 11.1. De viste værdier er det gennemsnitlige indhold i spildevandet.

Tabel 11.1 Hygiejnisk kvalitet af spildevand. i.p.: ikke påvist, dvs. fjernet til detektionsgrænsen.

Mikroorganismer	Urenset, / 100 ml	Før filter (afløb fra alm. Renseanlæg), / 100 ml	Efter filter (Egå), / 100 ml
Bakterier:			
Totale coliforme bakterier	$8,6 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$
<i>E. coli</i>	$2,6 \cdot 10^7$	$9,2 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$
Fæk. enterokokker	$9,3 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	330
<i>Salmonella</i>	100-1.000	10	< 1
<i>Campylobacter</i>	1.000	100	i.p.
Virus:			
Enterovirus	8/12	i.p.	i.p.
Protozoer:			
<i>Giardia intestinalis</i>	-	1,4	0,1
<i>Cryptosporidium parvum</i>	-	0,3	0,12

Det skal bemærkes, at der er målt 10-100 *Campylobacter* pr. 100 ml i det rensede sandfiltrede spildevand. Indholdet af mikroorganismer i spildevandet tilledt Egå og Marselisborg Renseanlæg vurderes at være i den høje ende i forhold til andre danske renselanlæg af deres størrelse (oplands størrelse), fordi der i oplandet findes både sygehuse, slagterier og lignende. Industrier og institutioner i oplandet er sammen med belastningen fra husspildevand afgørende for koncentrationen af mikroorganismer i spildevandet, som tilledes renselanlæggene. Niveautet af mikroorganismer i urensset spildevand målt i denne undersøgelse synes at være forholdsvis ens med de niveauer fundet i litteraturen for udenlandske renselanlæg.

Enterovirus er påvist i 8 af 12 prøver fra urensset spildevand, men er ikke påvist i udløbet fra hverken Marselisborg Renseanlæg eller Egå Renseanlæg (før filter). Der er ved andre undersøgelser fundet enterovirus i udløbet fra renselanlæg.

En viabilitetstest af cryptosporidieocyster i udløbsvandet viste, at der er viable cryptosporidier i udløbsvandet, hvilket betyder, at de kan være infektionsdygtige, hvis de spredes i miljøet.

Indholdet af sygdomsfremkaldende mikroorganismer i rensset spildevand fra offentlige renselanlæg vurderes at forekomme i niveauer, som kan give anledning til en sundhedsmæssig risiko.

11.2 Renseeffekter for aktiv slamanlæg

De gennemsnitlige reduktioner af mikroorganismer gennem de undersøgte renseanlæg fremgår af Tabel 11.2. I spildevandsteknikken betegnes renseanlæg med funktionsmæssig opbygning bestående af mekanisk, biologisk, nitrifikation, kemisk og denitrifikation som MBNKD. Hvis der er et yderligere rensetrin i form af sandfilter, indikeres dette med F. Egå Renseanlæg kan derfor karakteriseres som MBNKDF, mens Marselisborg Renseanlæg er MBNKD, ligesom Egå Renseanlæg før sandfilteret.

Tabel 11.2 Renseeffekter for aktiv slamanlæg med procesopbygning MBNKD og MBNKDF og til sidst over sandfilter for sig.

Mikroorganismer	MBNKD, %	MBNKDF, %	Over sandfilter (Egå Renseanlæg), %
Bakterier:			
Totale coliforme bakterier	99,60	99,88	82,8
<i>E. coli</i>	99,30	99,80	82,2
Fæk. enterokokker	97,80	99,90	72,5
<i>Salmonella</i>	1.000 gange reduktion (~99,9%)	10.000 gange reduktion (~99,99%)	10 gange reduktion (~90%)
<i>Campylobacter</i>	10.000 gange reduktion (~99,99%)	Til detektionsgrænsen	Til detektionsgrænsen
Virus:			
Enterovirus	Til detektionsgrænsen	-	-
Protozoer:			
<i>Giardia intestinalis</i>	-	-	91,4
<i>Cryptosporidium parvum</i>	-	-	63,1

Renseeffekten overfor *E. coli*, totale coliforme bakterier og fækale enterokokker i offentlige renseanlæg med MBNKD-opbygning er høj (97,8-99,6%). Niveaut af disse indikatorbakterier i det rensede spildevand er 10^4 - 10^5 pr. 100 ml.

Indsættelse af sandfilter forøger reduktionen af *E. coli*, totale coliforme bakterier og fækale enterokokker svarende til renseeffekter på hhv. 90,8%; 99,88% og 99,90%. Niveaut efter yderligere rensning med sandfilter er reduceret til ca. 10^2 - 10^4 pr. 100 ml.

Niveaut af indikatorbakterierne i spildevand efter rensning og selv efter filtrering er forholdsvis høj, hvorfor det vurderes, at der kan være en sundhedsmæssig risiko for de badende fra mere infektiøse fækale bakterier.

Salmonella og *Campylobacter* reduceres med ca. 1.000-10.000 gange i renseanlæg med MBNKD-opbygning. *Campylobacter* fjernes dog mere effektivt end *Salmonella*. Litteraturen angiver rensegrader for *Campylobacter* på 99% for hollandske aktiv slamanlæg.

Enterovirus fjernes fuldstændigt til detektionsgrænsen gennem de to undersøgte renseanlæg.

Det har ikke været muligt at beregne en renseeffekt for protozoerne ved de to målerunder på Egå og Marselisborg Renseanlæg, da der ikke er analyseret for disse i indløbsvandet pga analysemetodiske vanskeligheder. Litteraturen viser rensegrader for hhv. *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* på ca.

92% og 93% gennem aktiv slamanlæg uden efterfølgende sandfiltrering (MBNKD).

Der vurderes på baggrund af nærværende undersøgelser, at sandfiltrering har en god effekt overfor protozoer. *Giardia intestinalis* fjernes mere effektivt end *Cryptosporidium parvum*. Det kan hænge sammen med, at *Giardia intestinalis* cysterne er større end *Cryptosporidium parvum* oocysterne og tilbageholdes nemmere i filteret. Den dårligere fjernelse af *Cryptosporidium parvum* stemmer overens med den generelle viden indenfor rensning af drikkevand, idet *Cryptosporidium parvum* generelt er sværere at filtrere væk end andre parasitter.

11.3 Sundhedsmæssig risiko

Det vurderes, at det udledte spildevand fra aktiv slamanlæg både med og uden sandfiltrering kan udgøre en smitterisiko.

Det undersøgte sandfilter giver dog en betydelig reduktion af spildevandets indhold af sygdomsfremkaldende bakterier.

Regnvandsbetingede udløb udgør en sundhedsmæssig risiko i forbindelse med badevand, idet spildevandet på trods af fortynding vil indeholde en væsentlig koncentration af sygdomsfremkaldende mikroorganismer.

11.4 Infektionsdosis af spildevand

Der er foretaget en simpel teoretisk vurdering af udvalgte mikroorganismer til identifikation af eksponeringsdosen for de forskellige spildevandstyper, som er undersøgt i dette projekt. Eksponeringsdosen, som svarer til den spildevandsmængde, der potentielt skal optages for at medføre sygdom, fremgår af tabel 11.3. Der er tale om en konservativ model, som ikke kan sammenlignes med en egentlig risikovurdering. Der er endvidere i modellen antaget, at alle betydende faktorer, som skal kombineres for at bevirke infektion, er opfyldt.

Der er ved den simple beregning af eksponeringsdosen anvendt de teoretiske infektiøse doser for de mikroorganismer hvor doserne er kendt samt minimum og maksimum koncentrationerne målt i denne undersøgelse.

Tabel 11.3 Eksponeringsdosis for urensset, rensset og sandfiltreret spildevand.

Mikroorganismer	Urenset, liter spildevand	Før filter (afløb fra alm. rensesanlæg), liter spildevand	Efter filter, liter spildevand
<i>Salmonella</i>	0,01 – 1	0,1 – 10	10
<i>Campylobacter</i>	$5 \cdot 10^{-3}$ – 5	0,005 – 50	0,5
<i>Giardia intestinalis</i>	-	3,3 – 28	16
<i>Cryptosporidium parvum</i>	-	1,2 – 12,5	5 – 100

Eksponeringsdosen for urensset spildevand varierer fra få milliliter til 5 liter. *Salmonella* og *Campylobacter* er interessante i sundhedsmæssig sammenhæng, når de vurderes ved denne simple metode.

Eksponeringsdosen for rensset spildevand varierer fra ca. 5 milliliter til 50 liter. Det vurderes, at de interessante mikroorganismer for rensset spildevand er

Salmonella og *Campylobacter*. *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* vil dog stadig være interessant på grund af den lave infektiøse dosis.

Eksponeringsdosen for rensat og sandfiltreret spildevand varierer fra ca. 0,5 milliliter til 100 liter. Den interessante mikroorganisme ved denne simple metode for rensat sandfiltreret spildevand vurderes at være *Campylobacter*. *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* vil dog stadig være interessant på grund af den lave infektiøse dosis.

Den simple vurdering viser, at eksponeringsdoserne for at fremkalde sygdom i værste tilfælde for de undersøgte mikroorganismer er relativt små. Det er specielt *Salmonella* og *Campylobacter*, der i den forbindelse er interessant, hvilket ses af den teoretiske sygdomsfremkaldende spildevandsmængde i de forskellige vandtyper. Alle mikroorganismer med lav infektiøs dosis, heriblandt protozoerne, er interessante i en sundhedsmæssig sammenhæng, når de udledes med spildevand.

11.5 Videre arbejde

På basis af nærværende undersøgelse foreslås det, at der arbejdes videre med:

- vurdering af om udledning af spildevand fra renseanlæg og regnvandsbetingede overløb udgør en sundhedsmæssig risiko for badende
- vurdering af eksisterende metoder/teknologier til videregående behandling af spildevand
- vurdering af risiko ved anvendelse af alternative spildevandsløsninger og renseteknologier
- afhængig af hvordan risikovurderingerne falder ud kan det overvejes at udvikle redskaber til karakterisering af særlige kilder til belastning af spildevandet med smitstoffer. Det kan b.la. overvejes at udforme særlige retningslinier for tilslutningstilladelser til offentlig kloak for særlige spildevandstyper og retningslinier for udledningstilladelser for renseanlæg
- vurdering af risiko for spildevandsbetinget smitte af spildevandsarbejdere ved drift og vedligeholdelse af afløbs- og renseanlæg.

12 Litteraturliste

- (Aulicino et al., 1996)
Aulicino, F.A.; Mastrantonio, A.; Orsini, P.; Bellucci, C.; Muscillo, M.; Larosa, G.: Enteric viruses in wastewater treatment plant in Rome. *Water, Air and Soil Pollution*, 1996. 91, 327-334.
- (Bjergbæk et al., 2000)
Bjergbæk, L.A.; Gudiksen, S.; Lentz, T.; Matzen, D.; Nielsen, G.G.: Afledning og rensning af regn- og spildevand. 6. semesters projekt. Aalborg Universitet, Miljølinien. 2000.
- (Brandt, 2001)
Brandt, J. (BST, Århus): Mundtlig kommunikation vedrørende sygdomstilfælde relateret til spildevandsarbejde.
- (Brøndsted et al., 2000)
Brøndsted, T.; Hald, T.; Jørgensen, B.B.: Annual Report on Zoonoses in Denmark 1999. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Dansk Zoonosecenter, 2000. Rapport.
- (Brugha et al., 1998)
Brugha, R.; Heptonstall, J.; Farrington, P.; Andren, S.; Perry, K. & Parry, J.: Risk of hepatitis A infection in sewage workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 1998. 55, 567-569.
- (BST, 2000)
Klausen, H.; Støttrup Hansen, E. og Rosdahl, N.: Helbredsrisiko ved arbejde med spildevand – en undersøgelse af dødelighed og kræftforekomst blandt københavnske kloakarbejdere. Rapport. 2000.
- (Bukhari et al., 1997)
Bukhari, Z.; Smith, H.V.; Sykes, N.; Humphreys, S.W.; Paton, C.A.; Girdwood, R.W.A.; Fricker, C.R.: Occurrence of *Cryptosporidium* spp oocysts and *Giardia* spp cysts in sewage influents and effluents from treatment plants in England. *Water Science & Technology*, 1997, 35, 11-12, 385-390.
- (D'Aoust, 1989)
D'Aoust, J.Y.: *Salmonella*. In Doyle MP, ed. *Foodborne Bacteria Pathogens*, 327-445. New York: Marcel Dekker Inc., 1989.
- (Danmarks Statistik, 2001)
Danmarks Statistik: Miljø og Energi. Forbruget af drikkevand 1999. 2001:3. Feb. 2001.
- (De Serres et al., 1995)
De Serres, G.; Levesque, B.; Higgins, R.; Major, M.; Laliberte, D.; Boulianne, N. and Duval, B.: Need for vaccination of sewer workers against leptospirosis and hepatitis A. *Occupational and Environmental Medicine*, 1995. 52, 505-507.
- (Den Kommunale Højskole, 2001)
Henze, M.; Petersen, G.; Kristensen, G.H.; Kjeldsen, J.J.: Drift af renseanlæg – teknik. 2. udgave. 2000. Den Kommunale Højskole.
- (Di Giovanni et al., 1999)
Di Giovanni, G.D.; Hashemi, F.H.; Shaw, N.J.; Abrams, F.A.; LeChevallier, M.W.; Abbaszadegan, M.: Detection of Infectious *Cryptosporidium parvum* Oocysts in Surface and Filter Backwash Samples by Immunomagnetic Separation and Integrated Cell Culture-PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65, 8, 3427-3432.
- (EF, 1975)
Rådets direktiv af 8. december 1975 om kvaliteten af badevand (76/160/EØF).
- (Engberg et al., 1998)
Engberg, J.; Gerner-Smidt, P.; Scheutz, F.; Nielsen, E.M.; On, S.L.W.; Mølbak, K.: Water-borne *Campylobacter jejuni* infection in a Danish town – a 6-week continuous source outbreak. *Clinical Microbiology and Infection*, 1998, 4, 11, 648-656.
- (Fayer et al., 1998)
Fayer, R.; Graczyk, T.K.; Lewis, E.J.; Trout, J.M.; Farley, C.A.: Survival of Infectious *Cryptosporidium parvum* Oocysts in Seawater and Eastern Oysters (*Crassostrea virginica*) in the Chesapeake Bay. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, 64, 3, 1070-1074.
- (Fyns Amt, 1999)
Madsen, J.M.; Pedersen, L.S.; Dalum, L.K.; Nielsen, M.D.; Knudsen, L.: Punktkilder 1998. VANDMILJØovervågning, 1999.
- (Gabrieli, et al., 1997)
Gabrieli, R.; Divizia, M.; Donia, D.; Ruscio, V.; Bonadonna, L.; Diotallevi, C.; Villa, L.; Manzone, G.; Panà, A.: Evaluation of the wastewater treatment plant of Rome Airport. *Water Science & Technology*, 1997, 35, 11-12, 193-196.
- (Gerba, 1996)
Gerba, C.P.: Pathogens in the Environment. In *Pollution Science*, 279-300, 1996. Academic Press.

(Gibson III et al., 1998)
 Gibson III, C.J.; Stadterman K.L.; States, S.; Sykora, J.: Combined sewer overflows: A source of *Cryptosporidium* and *Giardia*?. *Water Science & Technology*, 1998, 38, 12, 67-72.

(Gleeson and Gray, 1997)
 Gleeson, C. and Gray, N.: The Coliform Index and Waterborne Disease – Problems of microbial drinking water assessment. 1997.

(Gregersen et al., 1999)
 Gregersen, P.; Grunnet, K.; Uldum, SA.; Andersen, BH. & Madsen, H.: Pontiac fever at a sewage treatment plant in the food industry. *Scandinavian journal of work, environment & health*, Juni 1999. 25(3), 291-5.

(Guardabassi et al., 1998)
 Guardabassi, L.; Petersen, A.; Olsen, J.E.; Dalsgaard, A.: Antibiotic resistance in *Acinetobacter* spp. isolated from sewers receiving waste effluent from a hospital and a pharmaceutical plant. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, 64, 9, 3499-3502.

(Hagedorn et al., 1999)
 Hagedorn, C.; Robinson, S.L.; Filtz, J.R.; Grubbs, S.M.; Angier, T.A.; Reneau JR., R.B.: Determining Sources of Faecal Pollution in a Rural Virginia Watershed with Antibiotic Resistance Patterns in Faecal Streptococci. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65, 12, 5522-5531.

(Hill and Sobsey, 1998)
 Hill, V.R. and Sobsey M.D.: Microbial indicator reductions in alternative treatment systems for swine wastewater. *Water Science & Technology*, 1998, 38, 12, 119-122.

(Höller et al., 1998)
 Höller, C.; Witthuhn, D.; Janzen-Blunck, B.: Effect of Low Temperatures on Growth, Structure, and Metabolism of *Campylobacter coli* SP10. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, 64, 2, 581-587.

(Ionas et al., 1998)
 Ionas, G.; Learmonth, J.J.; Keys, E.A.; Brown, T.J.: Distribution of *Giardia* and *Cryptosporidium* in natural water systems in New Zealand – A nationwide survey. *Water Science & Technology*, 1998, 38, 12, 57-60.

(Isaac-Renton et al., 1996)
 Isaac-Renton, J.; Moorehead, W.; Ross, A.: Longitudinal Studies of *Giardia* Contamination in Two Community Drinking Water Supplies: Cyst Levels, Parasite Viability, and Health Impact. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996, 62, 1, 47-54.

(Jagals, 1997)
 Jagals, P.: Stormwater runoff from typical developed and developing South African urban developments: Definitely not for swimming. *Water Science & Technology*, 1996, 35, 11-12, 133-140.

(Johnson et al., 1997)
 Johnson, D.C.; Enriquez, C.E.; Pepper, I.L.; Davis, T.L.; Gerba, C.P.; Rose, J.B.: Survival of *Giardia*, *Cryptosporidium*, Poliovirus and *Salmonella* in marine waters. *Water Science & Technology*, 1997, 35, 11-12, 261-268.

(Kaneko, 1997)
 Kaneko, M.: Virus removal by domestic wastewater treatment system named Johkasou. *Water Science & Technology*, 1997, 35, 11-12, 187-191.

(Kaneko, 2000)
 Kaneko, M.: Provisional Countermeasures against Cryptosporidiosis Outbreak in Japan. The 6th International Workshop on Drinking Water Quality Management and Treatment Technology. 28-29. Marts 2000, Taiwan, R.O.C.

(Kapperud, 1994)
 Kapperud, G.: *Campylobacter* infection. Epidemiology, risk factors and preventive measures. *Tidsskrift for den Norske Laegeforening*. 1994. Marts 10, 114(7), 795-9.

(Khuder et al., 1998)
 Khuder, SA.; Arthur, T.; Bisesi, MS. and Schaub, EA.: Prevalence of infectious diseases and associated symptoms in wastewater treatment workers. *American journal of industrial medicine*, Juni 1998. 33(6), 517-7.

(Koenraad et al., 1994)
 Koenraad, P.M.F.J.; Hazeleger, W.C.; van der Laan, T.; Beumer, R.R.; Rombouts, F.M.: Survey of *Campylobacter* ssp. in sewage plants in The Netherlands. *Food Microbiology*. 1994. 11. 65-73.

(Koenraad et al., 1996)
 Koenraad, P.M.F.J.; Jacobs-Reitsma, W.F.; Beumer, R.R.; Rombouts, F.M.: Short-term evidence of *Campylobacter* in a treatment plant and drain water of a connected poultry abbatoir. *Water Environmental Research*, 1996. 68, 2, 188-193.

(Laursen, 1999)
 Laursen, E.: Microbiological contamination of drinking water. 1999.

(LeChevallier et al., 1996)
 LeChevallier, M.W.; Welch, N.J.; Smith, D.B.: Full-Scale Studies of Factors Related to Coliform Regrowth in Drinking Water. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996, 62, 7, 2201-2211.

(Marcinek et al., 1998)
 Marcinek, H.; Wirth, R.; Muscholl-Silberhorn, A.; Gauer, M.: *Enterococcus faecalis* Gene Transfer under Natural Conditions in Municipal Sewage Water Treatment Plants. Applied and Environmental Microbiology, 1998, 64, 2, 626-632.
 (Medema (1) et al., 1997)
 Medema, G.J.; Bahar, M.; Schets, F.M.: Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia Coli*, faecal enterococci and *Clostridium Perfringens* in river water: Influence of temperature and autochthonous microorganisms. Water Science & Technology, 1997, 35, 11-12, 249-252.
 (Medema et al., 1997)
 Medema, G.J.; van Asperen, I.A.; Havelaar, A.H.: Assessment of the exposure of swimmers to microbiological contaminants in fresh water. Water Science & Technology, 1997, 35, 11-12, 157-163.
 (Meinhardt et al., 1996)
 Meinhardt, P.L.; Casemore, D.P.; Miller, K.B.: Epidemiologic aspects of human cryptosporidiosis and the role of waterborne transmission. Epidem Rev 2, 118-134.
 (Melbostad et al., 1994)
 Melbostad, E.; Eduard, W.; Skogstad, A.; Sandven, P.; Lassen, J.; Sostran, P. og Heldal, K.: Exposure to bacterial aerosols and work-related symptoms for sewage workers. American journal of industrial medicine, Januar 1994. 25(1), 59-63.
 (MEM, 1999)
 Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse og nr. 99 af 15. februar 1999 om ændring af bekendtgørelse om badevand og badestrande.
 (Nethercott and Holness, 1988)
 Nethercott, JR. and Holness, DL.: Health status of a group of sewage treatment workers in Toronto, Canada. American Industrial Hygiene Association journal, Juli 1988. 49(7), 346-50.
 (Nickelsen et al., 1995)
 Nickelsen, C.; Ernø, H.; Møller-Larsen, A.; Andersen, H.M.K.: Bathing Water – Microbiological Control. Environmental Project, 1995, 314.
 (Nickelsen og Kristensen, 1991)
 Nickelsen, C.; Kristensen, K.K.: Hygiejnisk kvalitet af spildevand fra renselanlæg. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, 1991, 21.
 (Nielsen et al., 1996)
 Nielsen, L.; Høgdall, E.; Vang, T.: *E. coli* i marint sediment. Vand & Jord, 1996, 3, 108-112.
 (Nielsen, 2001)
 Nielsen, H. (BV3 Arbejdstilsynet): Oplæg og -materiale på Spildevandscenter Avedøre den 24/4-01. Temadag for bakterier i renselanlæg.
 (Rajala and Heinonen-Tanski, 1998)
 Rajala, R.L. and Heinonen-Tanski, H.: Survival and transfer of faecal indicator organisms of wastewater effluents in receiving lake waters. Water Science & Technology, 1998, 38, 12, 191-194.
 (Riemann and Cliver, 1998)
 Riemann, H.P. and Cliver, D.O.: *Escherichia coli* O1257:H7. The Veterinary clinics of North America. Food animal practice. 1998, 14, 41-8.
 (Robinson, 1981)
 Robinson, D.A.: Infective Dose of *Campylobacter jejuni* in milk. British medical journal (Clinical research ed.). 1981. 282. 1584.
 (Rose, 1997)
 Rose, J.B.: Environmental ecology of *Cryptosporidium* and public health implications. Annual Review of Public Health, 1997, 18, 135-161.
 (Schlosser et al., 1999)
 Schlosser, O.; Grall, D. & Laurenceau, MN.: Intestinal parasite carriage in workers exposed to sewage. European journal of epidemiology, marts 1999. 15(3), 261-5.
 (Smith et al., 1995)
 Smith, H.V.; Robertson, L.J.; Campbell, A.T.; Girdwood, R.W.A.: Giardia and giardiasis: What's in the name? Microbiol Europe 3.
 (SSI, 2001)
 Statens Serum Institut: EPI-NYT, Uge 15/16, 2001. Zoonotiske tarminfektioner.
 (Stenström, 1996)
 Stenström, T.A.: Sjukdomsfremkallande mikroorganismer i avloppssystem – riskvärdering av traditionella och alternativa avloppslösningar. Naturvårdsverket. Rapport, 1996.
 (Waage et al., 1999)
 Waage, A.S.; Vardund, T.; Lund, V.; Kapperud, G.: Detection of Small Numbers of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* Cells in Environmental Water, Sewage, and Food Samples by a Seminested PCR Assay. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65, 4, 1636-1643.
 (Wallis et al., 1996)
 Wallis, P.M.; Erlandsen, S.L.; Isaac-Renton, J.L.; Olson, M.E.; Robertson, W.J.; van Keulen, H.: Prevalence of *Giardia* Cysts and *Cryptosporidium* Oocysts and Characterization of *Giardia* spp. Isolated from Drinking Water in Canada. Applied and Environmental Microbiology, 1996, 62, 8, 2789-2797.

(Zuckerman et al., 1997)
Zuckerman, U.; Gold, D.; Shefel, G.; Armon, R.: The presence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in surface waters and effluents in Israel. *Water Science & Technology*, 1997, 35, 11-12, 381-384.
(Zuskin et al., 1993)
Zuskin, E.; Mustajbegovic, J. & Schachter, EN.: Respiratory function in sewage workers. *American Industrial Hygiene Association journal*, Maj 1993. 23(5), 751-61.
Chan et al., 1987)
Chan, OY.; Chia, SE.; Nadarajah, N. & Sng, EH.: Leptospirosis risk in public cleansing and sewer workers. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, Okt. 1987. 16(4), 586-90.
(Århus Amt, 1998)
Århus Amt: U-skemaer for Egå Renseanlæg og Marselisborg Renseanlæg. Århus Amt, Natur og Miljø. 1998.
(Århus Amt, 2000)
Århus Amt: Tilsyn med kommunale renselanlæg, tilsynsrapport 1999. Århus Amt, Natur og Miljøkontoret. 2000.
(Århus Kommune, 2000)
Århus Kommune: Forslag til spildevandsplan, februar 2000; Analyser af E. Coli ved Egåens udløb – Badevandskvalitet, august-september 2000. Århus Kommune, Miljøkontoret.

1 Måleprogram

12.1 Beskrivelse

12.1.1 Abstrakt

Der gennemføres mikrobiologisk undersøgelse på to udvalgte kommunale renseanlæg og et litteraturstudium indenfor samme felt. På indløb og udløb fra Marselisborg Renseanlæg og Egå Renseanlæg vil der blive analyseret for indikatorbakterier, bakterier, parasitter og indikatorer for virus. Undersøgelser for protozoer vil blive foretaget for prøver fra udløbet.

Måleprogram

I nærværende måleprogram er redegjort for projektets ramme, deltagende institutioner/projektorganisation, målestationer, prøveudtagning, analyser, ansvar, tids- og aktivitetsplan.

12.1.2 Deltagende institutioner

Af tabel A.1 fremgår en samlet oversigt over organiseringen af arbejdet. COWI's kontaktperson og koordinator for måleprogrammet er civilingeniør Kasper Mølgaard.

Tabel A.1 Del tagende institutioner ved måleprogrammet.

Institution
COWI
Miljøstyrelsen, Kontoret for Biocid- og Kemikalievurdering
Statens Veterinære Serumlaboratorium
Miljølaboratorium Storkøbenhavn I/S
Statens Serum Institut, Virologisk afdeling
Jysk Miljølaboratorium A/S
Egå Renseanlæg
Marselisborg Renseanlæg

Ledelsen af projektet fremgår af tabel A.2.

Tabel A.2 Projektledelse.

Institution
Miljøstyrelsen, Spildevands- og Vandovervågning
Miljøstyrelsen, Kontoret for Biocid- og Kemikalievurdering
COWI
Firmaet Jes la Cour Jansen

12.1.3 Målestationer

Der er udlagt i alt 5 målestationer i forbindelse med projektets gennemførelse. Placeringen af stationerne fremgår af tabel A.3 og A.4.

Tabel A.3 Egå Renseanlæg, målestationer.

Station	Beskrivelse	Bemærkninger
ER nr.1	Indløb	Ved eksisterende faste målestation
ER nr.2	Før filter	Udløb fra efterklaring tilløb til filter
ER nr.3	Udløb	Ved eksisterende faste målestation

Tabel A.4 Marselisborg Renseanlæg, målestationer.

Station	Beskrivelse	Bemærkninger
MR nr.1	Indløb	Ved eksisterende faste målestation
MR nr.2	Udløb	Ved eksisterende faste målestation

12.1.4 Måleprogram

Prøveudtagning

Stikprøver & delprøver

Miljølaboratoriet Storkøbenhavn I/S forestår akkrediteret prøveudtagning. Prøverne udtages som stikprøver på alle stationerne. Der udtages samlet 25 l spildevand fra hver målestation. Udfra denne prøve fordeles spildevandet i delprøver til hvert laboratorium. Prøverne mærkes med projektnavn, stations nr., tidspunkt og dato for udtagning.

Prøvemængde

Fordelingen af spildevand fra hver målestation i delprøver til hver udførende laboratorium fremgår af tabel A.5.

Tabel A.5 Fordeling af spildevandsprøver fra hver målestation.

Laboratorium	Spildevandsmængde Indløb / Udløb og før filter
Miljølaboratorium Storkøbenhavn I/S	2 l / 2 l
Jysk Miljølaboratorium	2 l / 2 l
Statens Veterinære Serumlaboratorium	- / 2×10 l
Statens Serum Institut, Virologisk afdeling	10 ml / 10 ml

Transport

Efter udtagningen forestår Miljølaboratoriet Storkøbenhavn I/S transporten til laboratorierne. Jysk Miljølaboratorium A/S afhenter dog spildevandet ved renseanlæggene i henhold til aftalt sluttidspunkt for prøveudtagning (jvf. tids- og aktivitetsplan).

Analyser

Ved ankomsten til laboratorierne tages prøverne i arbejde umiddelbart efter indleveringen. Af tabel A.6 fremgår en oversigt over analyseprogrammet.

Tabel A.6 Analyseprogram.

Udførende	Parameter	Metode	Enhed	min. niveau
Statens Veterinære Serum-laboratorium	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Opkoncentrering, IMS oprensning, immunofluorescens	Oocyster pr. 10 l	100 oocyster pr. 10 l
	<i>Giardia intestinalis</i>		Cyster pr. 10 l	100 cyster pr. 10 l
Miljølaboratoriet Storkøbenhavn I/S	<i>E. coli</i>	DS 2255:1983	pr. ml	1
	Totale coliforme bakterier	DS 2255:1983	pr. ml	1
	Enterokokker	ISO899/2modMST98	pr. ml påvist i 10 og 100ml	1
	<i>Salmonella</i>	DS 266:1988; selektiv opformering dog kun i RV		
	<i>Campylobacter</i>	Draft ISO; selektiv opformering dog kun i Preston Broth	påvist i 10 og 100ml	1
Statens Serum Institut, Virologisk afdeling	Enterovirus	PCR		
Egå Renseanlæg	Indløbsflow	On-line måler	m ³ /d	1,0
	Udløbsflow	On-line måler	m ³ /d	1,0
	Temperatur	On-line måler	°C	0,1
	pH	On-line måler	-	0,1
Marselisborg Renseanlæg	Indløbsflow	On-line måler	m ³ /d	1,0
	Udløbsflow	On-line måler	m ³ /d	1,0
	Temperatur	On-line måler	°C	0,1
	pH	On-line måler	-	0,1
Jysk Miljølaboratorium A/S	COD	DS 217	mg O ₂ /l	10
	Total N	DS 221	mg N/l	1,0
	Total P	DS 292	mg P/l	0,01
	SS	DS 207	mg SS/l	1,0
	pH	DS 287	-	0,1

Bemærk kravene til detektion - min. niveau.

I forbindelse med programmets gennemførelse foretages en registrering og karakterisering af driften af anlæggene, jf. tabel A.6. Unormale forhold af betydning for måleprogrammet noteres.

12.1.5 Tids- og aktivitetsplan

Programmet opdeles i to dele. Efter første del gennemføres en indledende vurdering af resultaterne. Der udtages 6 prøver på hver af de 5 målestationer.

Første del

Programmets første del gennemføres i uge 33 (15. - 17. august) på dagene tirsdag, onsdag og torsdag. Der udtages prøver i tidsrummet fra kl. 9.00 - 11.00 på de to renselanlæg. Prøverne leveres til analyse mellem kl. 15 og 16 de samme dage. Efter endt analysering fremsendes resultaterne til COWI senest 1. september.

På basis af resultaterne fra første målerunde udarbejdes en kortfattet vurdering af resultaterne. På basis heraf vurderes, hvorvidt det er

hensigtsmæssigt at flytte den del af måleprogrammet som foretages på Egå Renseanlæg til Beder Renseanlæg i Århus Kommune.

Anden del

Programmets anden del gennemføres i uge 39 (26. - 28. september) på dagene tirsdag, onsdag og torsdag. Der udtages prøver i tidsrummet fra kl. 9.00 - 11.00 på de to renseanlæg. Prøverne leveres til analyse mellem kl. 15 og 16 de samme dage.

1 Resultater af måleprogram

Måleresultaterne for måleprogrammet præsenteres i tabelform. 1. målerunde var i uge 33 (15/8-17/8) og 2. målerunde var i uge 39 (26/9-28/9). Der er endvidere angivet data for flow og nedbør samt særlige bemærkninger til driften for måleperioderne.

Med hensyn til protozoer er der i første målerunde på Egå Renseanlæg kun målt efter sandfilteret (ER 3). Dette er ved 2. målerunde ændret til både før og efter sandfilteret (ER 2 og ER 3).

Resultaterne fra 1. målerunde viste et behov for intensiverede analyseintervaller for *Campylobacter* og *Salmonella*. Disse smitstoffer er derfor fra 2. målerunde analyseret i flere fortyndinger.

Der var ingen særlige problemer vedrørende driften på hverken Egå eller Marselisborg Renseanlæg i de to målerunder.

Driftsdata som pH, SS, COD, BOD, Tot-N og Tot-P fra renselanlæggenes driftsjournaler er sammenholdt med analyserne fra Jysk Miljølaboratorium. Der var nogen uoverensstemmelse, da prøverne fra Jysk Miljølaboratorium er stikprøver, mens driftsjournalerne præsenterer døgnmidler. Analyseresultaterne fra Jysk Miljølaboratorium er anvendt.

12.2 Egå Renseanlæg

Der udførtes prøveudtagning ved 3 målestationer ved Egå Renseanlæg over de 2 målerunder; Indløb, Før filter og Udløb. I.P.: Ikke påvist. I.A.: Ikke analyseret. I.O.: Ingen oplysninger – registreres ikke.

ER 1, Indløb	Enhed	15/8-00	16/8-00	17/8-00	26/9-00	27/9-00	28/9-00
Fæk. enterokokker	/100 ml	3,6·10 ⁵	7,0·10 ⁵	8,0·10 ⁵	3,2·10 ⁵	3,1·10 ⁵	3,8·10 ⁴
Totale coliforme bakterier	/100 ml	3,3·10 ⁷	1,1·10 ⁷	1,1·10 ⁸	2,4·10 ⁷	7,9·10 ⁶	2,4·10 ⁷
<i>E. coli</i>	/100 ml	1,3·10 ⁷	3,3·10 ⁶	4,9·10 ⁷	7,9·10 ⁶	2,4·10 ⁶	7,9·10 ⁶
<i>Salmonella</i>	i 100 ml	>100	>100	>100	10-1.000	10-100	I.P. i 10 ml ²⁴
<i>Campylobacter</i>	i 100 ml	>100	10-100	>100	10 ³ -10 ⁴	10 ³ -10 ⁴	10 ³ -10 ⁴
<i>Giardia intestinalis</i>	/10 l	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/10 l	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.
Enterovirus	+/-	-	+	+	+	+	+
pH		7,24	7,63	7,67	7,47	7,47	7,87
Tørstof SS	mg/l	400	500	680	370	390	310
COD	mg/l	1.700	1.100	1.200	490	520	520
Tot-N	mg/l	71	78	88	37	39	60
Tot-P	mg/l	12	15	17	7,6	6,9	8,8
Flow	m ³ /dg	12.500	12.930	13.540	14.060	18.120	27.080
Nedbør	mm	0,6	0	1,2	0	5,6	8,8

ER 2, Før filter	Enhed	15/8-00	16/8-00	17/8-00	26/9-00	27/9-00	28/9-00
Fæk. enterokokker	/100 ml	700	200	400	1.100	200	300
Totale coliforme bakterier	/100 ml	4,6·10 ⁴	2,4·10 ⁴	4,9·10 ⁴	4,9·10 ⁴	7,9·10 ⁴	1,3·10 ⁵
<i>E. coli</i>	/100 ml	4.900	4.900	1,4·10 ⁴	1.400	7.900	1,3·10 ⁵
<i>Salmonella</i>	i 100 ml	I.P.	I.P.	I.P.	I.P.	I.P.	I.P. i 10 ml ¹
<i>Campylobacter</i>	i 100 ml	10-100	I.P.	I.P.	I.P.	I.P.	I.P. i 10 ml ¹
<i>Giardia intestinalis</i>	/10 l	I.A.	I.A.	I.A.	190	140	203
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/10 l	I.A.	I.A.	I.A.	16	21	39
Viabilitetstest - <i>Cryptosporidium</i>	døde/viable	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	2/14	15/2
Enterovirus	+/-	-	-	-	-	-	-
pH		7,65	8,12	8,2	7,64	7,56	7,6
Tørstof SS	mg/l	3,3	3,2	3,7	3,2	3,2	2,6
COD	mg/l	31	45	45	61	52	37
Tot-N	mg/l	4,4	5,1	5,2	2,9	3,3	7,8
Tot-P	mg/l	0,3	0,44	0,54	0,52	0,72	1,9

²⁴ Ikke påvist i 10 ml prøvevolumen. Der er derfor mulighed for at indholdet ligger i intervallet 1-10 pr. 100 ml.

ER 3, Udløb	Enhed	15/8-00	16/8-00	17/8-00	26/9-00	27/9-00	28/9-00
Fæk. enterokokker	/100 ml	300	100	300	500	500	< 100
Totale coliforme bakterier	/100 ml	3.300	4.900	7.900	2,2·10 ⁴	3,3·10 ⁴	3,5·10 ⁴
<i>E. coli</i>	/100 ml	1.300	490	790	400	2,4·10 ⁴	1,1·10 ⁴
<i>Salmonella</i>	i 100 ml	I.P.	I.P.	10-100	I.P.	>10.000	I.P.
<i>Campylobacter</i>	i 100 ml	I.P.	10-100	I.P.	I.P.	I.P.	I.P.
<i>Giardia intestinalis</i>	/10 l	0	0	0	20	64	0
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/10 l	1	2	2	16	14	9
Enterovirus	+/-	-	-	-	-	-	-
pH		7,91	7,96	8,13	7,87	7,66	7,89
Tørstof SS	mg/l	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,1	4,6	<1,0
COD	mg/l	29	36	38	55	64	27
Tot-N	mg/l	4,3	4,6	4,5	2,3	3,5	2,3
Tot-P	mg/l	0,39	0,4	0,45	0,27	0,76	0,52

12.3 Marselisborg Renseanlæg

Der udførtes prøveudtagning ved 2 målestationer ved Marselisborg Renseanlæg over 2 målerunder; Indløb og Udløb.

MR 1, Indløb	Enhed	15/8-00	16/8-00	17/8-00	26/9-00	27/9-00	28/9-00
Fæk. enterokokker	/100 ml	7,0·10 ⁵	2,7·10 ⁶	3,4·10 ⁶	1,6·10 ⁶	1,4·10 ⁵	4,1·10 ⁴
Totale coliforme bakterier	/100 ml	2,4·10 ⁸	1,3·10 ⁸	3,5·10 ⁸	2,4·10 ⁷	3,3·10 ⁶	7,0·10 ⁷
<i>E. coli</i>	/100 ml	3,3·10 ⁷	1,3·10 ⁸	3,3·10 ⁷	2,4·10 ⁷	2,4·10 ⁶	3,3·10 ⁷
<i>Salmonella</i>	i 100 ml	>100	>100	10-100	100-1.000	100-1.000	100-1.000
<i>Campylobacter</i>	i 100 ml	>100	>100	I.P.	100-1.000	10 ³ - 10 ⁴	100-1.000
<i>Giardia intestinalis</i>	/10 l	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/10 l	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.	I.A.
Enterovirus	+/-	-	-	-	+	+	+
pH		7,66	7,2	7,53	7,04	7,22	7,99
Tørstof SS	mg/l	430	620	580	820	350	350
COD	mg/l	1.100	1.600	1.200	1.300	400	660
Tot-N	mg/l	100	73	82	62	20	80
Tot-P	mg/l	22	14	17	21	13	18
Flow (afløb)	m ³ /dg	27.090	23.590	26.880	28.980	34.910	56.140
Nedbør	mm	I.O.	I.O.	I.O.	I.O.	I.O.	I.O.

MR 2, Udløb	Enhed	15/8-00	16/8-00	17/8-00	26/9-00	27/9-00	28/9-00
Fæk. enterokokker	/100 ml	1,3·10 ⁵	1,6·10 ⁴	8.000	1.800	7.000	400
Totale coliforme bakterier	/100 ml	1,7·10 ⁵	1,1·10 ⁵	4,9·10 ⁵	2,4·10 ⁵	3,3·10 ⁶	7,9·10 ⁵
<i>E. coli</i>	/100 ml	1,7·10 ⁵	7,9·10 ⁴	3,3·10 ⁵	2,4·10 ⁵	4,9·10 ⁴	3,3·10 ⁵
<i>Salmonella</i>	i 100 ml	I.P.	I.P.	10-100	10-100	I.P.	I.P.
<i>Campylobacter</i>	i 100 ml	10-100	>100	>100	I.P.	10-100	10-100
<i>Giardia intestinalis</i>	/10 l	38	44	36	36	44	39
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/10 l	1	1	1	1	8	0
Enterovirus	+/-	-	-	-	-	-	-
pH		7,55	7,56	7,97	7,24	7,17	7,24
Tørstof SS	mg/l	3	2,7	2	4,9	11	2,6
COD	mg/l	35	33	36	69	54	23
Tot-N	mg/l	6,5	8,1	3	5	5,9	1,6
Tot-P	mg/l	2,4	2,2	2	4,3		1,4

12.4 Supplerende filter undersøgelser, den 15. nov. 2000.

Der er i forbindelse med vurderingen af effekten af sandfilteret, som anvendes på Egå Renseanlæg efter den traditionelle efterklaringsfunktion, foretaget en supplerende undersøgelse.

Undersøgelsen omfatter målinger af rensed spildevand fra målestationer, ER 2 og ER 3, svarende til før filter og udløb. Stikprøverne er udtaget den 15/11-2000 over en fem timers periode, med udtagelse hver time svarende til 10 prøver i alt. Prøvetagningen er foretaget af Miljølaboratoriet Storkøbenhavn I/S. Analyse af bakterier er foretaget af Miljølaboratoriet Storkøbenhavn I/S, mens analyse af protozoer er foretaget af Statens Veterinære Serumlaboratorium.

ER 2, Før filter	Enhed	8.00-8.15	9.00-9.10	10.00-10.10	11.00-11.10	12.00-12.10
Fæk. enterokokker	/100 ml	2.700	3.200	4.200	6.600	6.900
Totale coliforme bakterier	/100 ml	4,9·10 ⁵	2,1·10 ⁵	7,9·10 ⁵	3,3·10 ⁵	3,3·10 ⁵
<i>E. coli</i>	/100 ml	4,9·10 ⁴	7,9·10 ⁴	1,7·10 ⁴	1,7·10 ⁴	1,3·10 ⁵
<i>Salmonella</i>	/100 ml	1-10	<1	1-10	10-100	1-10
<i>Campylobacter</i>	/1000 ml	100-1.000	100-1.000	100-1.000	100-1.000	10-100
<i>Giardia intestinalis</i>	/10 l	238	302	270	214	199
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/10 l	82	53	60	50	41
Viabilitetstest – <i>Cryptosporidium</i>	døde/viable	38/20	16/14	19/7	14/7	16/5

ER 3, Efter filter	Enhed	8.00-8.15	9.00-9.10	10.00-10.10	11.00-11.10	12.00-12.10
Fæk. enterokokker	/100 ml	190	170	440	350	410
Totale coliforme bakterier	/100 ml	1,1·10 ⁴	1,7·10 ⁴	3,3·10 ⁴	2,4·10 ⁴	3,3·10 ⁴
<i>E. coli</i>	/100 ml	4.900	7.900	7.000	4.900	1,1·10 ⁴
<i>Salmonella</i>	/100 ml	<1	<1	<1	<1	1-10
<i>Campylobacter</i>	/1000 ml	10-100	1-10	<1	<1	1-10
<i>Giardia intestinalis</i>	/10 l	3	12	3	6	7
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/10 l	18	19	16	20	18
Viabilitetstest - <i>Cryptosporidium</i>	døde/viable	9/0	8/1	7/0	6/2	7/1