

Kvantificering af sandsynligheder for fejl i regnvandsanlæg og gråvandsanlæg

Kvantificering af sandsynligheder for fejl i regnvandsanlæg og gråvandsanlæg

Ole Fritz Adeler, Morten Grum, Bjarne Kallesøe og
Poul Harremoës
PH-Consult ApS

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

RESUME	7
1 INDLEDNING	9
1.1 PROBLEMSTILLING	9
1.2 RISIKOANALYSE	10
1.3 HISTORIE	11
1.4 RESUME AF DEN KVALITATIVE RISIKOANALYSE	12
1.5 KVANTIFICERING AF RISIKOANALYSEN	13
2 RISIKOTERMINOLOGIEN/METODER	15
2.1 BEGREBER I RISIKOANALYSEN	16
2.1.1 <i>Opdeling af fejl</i>	16
2.1.2 <i>Definition af begreber</i>	18
2.2 METODER	20
2.2.1 <i>Bayesian Belief Networks / Causal Probabilistic Networks</i>	21
2.2.2 <i>FMEA – Fejlmåde og effektanalyse</i>	21
2.2.3 <i>HAZOP - "Hazards and operability study"</i>	21
2.2.4 <i>Fejltræsmetoden</i>	22
3 REGNVANDSANLÆG	27
3.1 BESKRIVELSE AF REGNVANDSANLÆG	27
3.1.1 <i>Sikring mod tilbagestuvning</i>	30
3.2 UØNSKEDE HÆNDELSER	32
3.2.1 <i>Forudsætninger for de opstillede fejltræer for de uønskede hændelser</i>	32
3.3 KRITISKE FEJLFORBINDELSER	32
3.3.1 <i>Fejlkobling, type 1</i>	33
3.3.2 <i>Fejlkobling, type 2</i>	33
3.3.3 <i>Fejlkobling, type 3</i>	34
3.3.4 <i>Fejlkobling, type 4</i>	34
3.3.5 <i>Fejlkobling, type 5</i>	35
4 GÆLDENDE REGLER FOR REGNVANDSANLÆG	37
4.1 EKSISTERENDE ENFAMILIEHUSE OMFATTET AF BR-S 98	38
4.2 NYE ENFAMILIEHUSE OMFATTET AF BR-S 98	38
4.3 ANDRE BYGNINGER	38
4.4 ANSVAR FOR INSTALLATIONEN	38
4.5 FORTOLKNING AF RØRCENTER-ANVISNINGEN 003	38
5 ERFARINGER FRA EKSISTERENDE ANLÆG	41
5.1 ERFARINGER FRA DANMARK	41
5.1.1 <i>Erfaringer fra Odense</i>	41
5.1.2 <i>Erfaringer fra Århus</i>	44
5.1.3 <i>Erfaringer fra telefonundersøgelse</i>	46
5.1.4 <i>Erfaringer fra producenter</i>	50
5.2 ERFARINGER FRA TYSKLAND	51
5.3 ERFARINGER FRA ENGLAND	54
6 KVANTITATIV RISIKOANALYSE	57
6.1 TILGÆNGELIG DATAMATERIALE	57

6.2	PRIMÆRFEIL	58
6.2.1	<i>Kontraventil</i>	58
6.2.2	<i>Magnetventil</i>	60
6.2.3	<i>Tilbagestrømningssikring</i>	61
6.2.4	<i>Pumper</i>	62
6.3	SEKUNDÆRE FEIL	63
6.3.1	<i>Oversvømmelse i kældre</i>	63
6.3.2	<i>El-afbrydelse</i>	64
6.3.3	<i>Trykket går af vandforsyningsnettet</i>	64
6.3.4	<i>Betjeningsfejl</i>	65
6.4	VEDLIGEHOLDELSE AF ANLÆG.	68
7	FEJLTRÆER MED SANDSYNLIGHED – REGNVANDSANLÆG	69
7.1	REGNVAND I DEN OFFENTLIGE VANDFORSYNING	69
7.2	SPILDEVAND I DEN OFFENTLIGE VANDFORSYNING	72
7.3	BEARBEJDNING AF DATA	76
7.3.1	<i>Regnvand i den offentlige vandforsyning</i>	77
7.3.2	<i>Spildevand i den offentlige vandforsyning</i>	78
7.3.3	<i>Benyttede sandsynligheder for komponenter, der skal kvantificeres</i>	79
7.4	BEREGNING AF DE FÆRLIGSTE FEJLKOMBINATIONER	81
7.4.1	<i>Regnvand i den offentlige vandforsyning</i>	82
7.4.2	<i>Spildevand i den offentlige vandforsyning</i>	84
7.5	VURDERING AF SANDSYNLIGHEDEN	85
8	EKSPONERING	87
8.1	TEORETISKE OVERVEJELSER FOR MODELBEREGNINGER	87
8.2	SYMBOLER	87
8.3	EKSPONERING	88
8.4	RISIKOBEREGNING FOR FEJL I ANLÆG (UDEN AT TRYKKET GÅR AF NETTET)	90
8.4.1	<i>Udbredelse</i>	90
8.4.2	<i>Risiko</i>	91
8.4.3	<i>Danmarks scenarium</i>	98
8.5	RISIKOBEREGNING FOR TRYKKET GÅR AF NETTET OG FEJL I ANLÆG	101
8.6	BESKRIVELSE AF UDVALGT VANDFORSYNING	101
8.7	BESKRIVELSE AF DE FORSKELLIGE MODELSCENARIER	102
8.7.1	<i>Tryk går af det offentlige vandforsyningsnet</i>	103
8.7.2	<i>Tryk i lokalt genbrugssystem større end tryk i det offentlige vandforsyningsnet</i>	103
8.8	EPANET2	104
8.9	BEREGNINGER	105
8.9.1	<i>Tryk i lokalt genbrugssystem større end i det offentlige vandforsyningsnet</i>	106
8.9.2	<i>Tryk går af det offentlige vandforsyningsnet.</i>	109
8.10	DISKUSSION AF MODELBEREGNINGER	111
9	RISIKO – REGNVANDSANLÆG	114
9.1	MODELBEREGNING – TEORETISKE OVERVEJELSER	114
9.2	VÆSENTLIGE PARAMETRE FOR BEREGNING AF RISIKO	116
10	GRÅVANDSANLÆG	118
10.1	BESKRIVELSE AF GRÅVANDSANLÆG	118
10.2	UØNSKEDE HÆNDELSER	120
10.3	BESKRIVELSE AF UDVALGTE FEJLTRÆER	121
10.3.1	<i>Spildevand i den offentlige vandforsyning</i>	121
10.3.2	<i>Gråt spildevand i den offentlige vandforsyning</i>	124

10.4 FARLIGSTE FELKOMBINATIONER/RISIKO	126
11 KONKLUSION	128
12 LITTERATURLISTE	130

Appendix A

Resume

I denne rapport er risikoterminologien og teknisk risikoanalyse anvendt i form af en kvantitativ risikoanalyse på et regnvandsanlæg og et grävands-anlæg.

<i>Historik</i>	Rapporten skal ses i sammenhæng med en tidligere udarbejdet rapport "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse", PH-Consult for Miljøstyrelsen, 1999. Formålet med den første rapport var at foretage en systematisk gennemgang og derved sikre et overblik, så der ikke er udeladt tilfælde af risici ved overvejelserne om introduktion af regnvandsanlæg og/eller grävandsanlæg med forbindelse til den offentlige vandforsyning.
<i>Mål = Kvantificering</i>	Denne rapport arbejder videre med den opstillede kvalitative risikoanalyse for de to anlægstyper præsenteret i form af fejltræer i den første rapport og foretager en kvantificering af fejl i forbindelse med projektering/konstruktion/drift/vedligeholdelse af regnvandsanlæg og grävands-anlæg.
<i>Forurening af den offentlige vandforsyning</i>	Den altafgørende fare ved regnvandsanlæg og grävandsanlæg er forbindelsen til den offentlige vandforsyning, hvor igennem der i tilfælde af tilbagesug eller i tilfælde af større tryk i den lokale vandforsyning end i den offentlige vandforsyning kan ske forurening af den offentlige vandforsyning.
<i>Definition af risiko</i>	Risiko er produktet af sandsynligheden (hyppighed) for en hændelse og den skade (omfang og alvor), som hændelsen kan forvolde.
<i>Fremgangsmåde</i>	Kvantificeringen af fejl er foretaget ud fra data i litteraturen, via diverse databaser, via tal om holdbarhed og effektivitet fra producenter samt via erfaringer fra allerede opførte regnvandsanlæg og grävandsanlæg i Danmark, Tyskland og i England.
<i>Fejlforbindelser ved 6 % af alle anlæg</i>	<p>Erfaringerne fra allerede opførte anlæg i både Danmark og Tyskland viste, at der for ca. 6 % af alle anlæg blev registreret en fejlforbindelse mellem det urene vand og den lokale vandforsyning/offentlige vandforsyning. Mange af anlæggene i Danmark overholdt ikke DS 439 og dermed Rørcentret's anvisning 003 for regnvandsanlæg.</p> <p>Kvantificeringen viste generelt, at hyppigheden for de uønskede hændelser, afhænger indirekte af hvor fejlforbindelsen mellem drikkevands- og genbrugsinstallationen etableres. I de fleste tilfælde foretages denne fejlforbindelse nedstrøms den kontraventil, der er placeret på stikledningen til den enkelte husstand. Kun i et tilfælde var fejlforbindelsen foretaget opstrøms denne. Den i Rørcentret's anvisning 003 beskrevet tilbagestrømningssikring var ikke etableret ved et eneste af de tilsete anlæg.</p>
<i>Den farligste situation</i>	Den farligste situation for anlæggene var ikke, som først forventet, at trykket går af den offentlige vandforsyning, og der dermed kan ske tilbagesug af forurenede vand. Den farligste situation er den, at pumpen i det lokale genbrugssystem pumper forurenede vand direkte ud i den offentlige vandforsyning.

Konsekvensen af en forurening

Konsekvensen af en forurening afhænger specifikt af den enkelte situation – især hvor i forsyningsnettet genbrugssystemet er lokaliseret samt på hvilket tidspunkt af døgnet forureningen sker. Disse fænomener er illustreret via nogle teoretisk opbyggede modeller, som blandt andet viser, at antallet af eksponerede personer afhænger af pumpeområdets størrelse i anden potens. Det vil sige jo større pumpeområder, jo flere mennesker eksponeres.

Danmarks scenarium

Ved hjælp af kvantificeringen og de opstillede teoretiske modeller, er der i rapporten opstillet et tænkt Danmarks scenarium, hvor der tages udgangspunkt i 5000 anlæg (fordelt på lav og høj fejlhyppighed). Resultatet af dette Danmarks scenarium er, at der vil ske ca. 300 eksponeringer per år. Det vil sige 300 personer vil modtage forurenede vand per år. Der er dog knyttet en del usikkerhed til dette resultat. Benyttes en fordeling af lav og skønnet fejlhyppighed i stedet opnås ca. 5 eksponeringer per år. Et godt bud på et Danmarks resultat er, at der formodentligt vil ske et sted mellem 5 og 300 eksponeringer per år.

1 Indledning

Indledning

Denne rapport omhandler risikoproblematikken i forbindelse med udnyttelse af urent vand i huse. Urent vand defineres på følgende måde: Vand der ikke opfylder drikkevandskriteriet. Rapporten er en fortsættelse af PH-Consult's rapport for Miljøstyrelsen "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse", som havde til formål at analysere risici for fejl i et givet teknisk anlæg ved hjælp af fejltræer. I den første rapport var målet udelukkende at sørge for en systematisk gennemgang i den hensigt at sikre det overblik, som garanterer, at der ikke er udeladt tilfælde i overvejelserne af risici ved introduktion af regnvandsanlæg og/eller grävandsanlæg med forbindelse til den offentlige vandforsyning. Der er som grundlag for rapporten foretaget relative vurderinger af forskellige anlægstyper og forskellige fejl for at vurdere disse indbyrdes i forhold til en given fare.

Forurening af den offentlige vandforsyning

Den altafgørende fare ved denne forbindelse til den offentlige vandforsyning er, at den giver en vis risiko for, at den offentlige vandforsyning forurenes med urent vand ved f.eks. tilbagesug i tilfælde, hvor trykket går af det offentlige vandforsyningsnet eller trykket i det lokale system, som transporterer regnvand/grävand til forbrugsstederne, er større end trykket i det offentlige vandforsyningsnet.

Definition af risiko

Risiko er imidlertid defineret som skaden ganget med sandsynligheden for, at den pågældende skade opstår. I den førmtalte rapport er der ikke udregnet egentlige risici, blot vægtninger ud fra kvalitative vurderinger af størrelsesforholdene. Dette skyldes, at det er en omfattende opgave at fastlægge sandsynligheder, og dette lå uden for omfanget af den først stillede opgave. Rapporten findes på Miljøstyrelsens hjemmeside (www.mst.dk).

Kvantificering af fejl

Der blev senere fremført det ønske, at der gøres en indsats for at komme tættere på en vurdering af de forventelige sandsynligheder for skader forbundet med tilslutning af regnvands- og grävandsanlæg til det offentlige vandforsyningsnet. Denne rapport omhandler kvantificeringen af fejl i forbindelse med projektering/konstruktion/drift/vedligeholdelse af regnvandsanlæg og grävandsanlæg og tager udgangspunkt i de opstillede fejltræer for de to anlægstyper præsenteret i den første rapport.

1.1 Problemstilling

Grundvandsressourcen

I den seneste årrække er der opstået stigende bekymring for grundvandsressourcens kvalitet og kvantitet i Danmark. Kvalitetsmæssigt bl.a. pga. forurening med pesticider og nitrat fra landbruget, og kvantitetsmæssigt pga. lukning af kildepladser forårsaget af forurening af bl.a. pesticider. Der er dog delte meninger om kvaliteten og kvantiteten af grundvandsressourcen. Vandværkskredsene pointerer gang på gang, at der er rigeligt med grundvand i Danmark, mens andre (ideologerne, producenterne af regnvandsanlæg) synes, det er vandspild at skylle toiletter med rent vand, og at der er grundvandsproblemer primært i nærheden af de større byer. I de senere år er der konstateret pesticider i flere og flere grundvandsboringer.

<i>Nøgtern undersøgelse</i>	Det skal her understreges, at debatten om grundvandsressourcen ikke er medtaget i denne rapport, da dette ikke har været formålet. I denne rapport foretages alene en nøgtern undersøgelse af risici for forurening af vandværksvandet ved brug af regnvand/gråvand i husholdninger.
<i>Interesse for brug af regnvand</i>	Under alle omstændigheder er der opstået en stor folkelig og politisk interesse for at kunne udnytte de alternative vandressourcer bl.a. regnvand opsamlet fra tage og gråt spildevand fra interne cirkulationsanlæg i de enkelte husstande/virksomheder. Denne udnyttelse medfører imidlertid risiko for at forringe den lokale og den offentlige vandforsynings hygiejniske standard.
<i>Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 515 er ændret</i>	I juli 2000 blev Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 515 af 29. august 1988 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg ændret, således at det nu er lovligt at benytte regnvand opsamlet fra tage til tøjvask og wc-skyl i boliger og boligliggende ejendomme. Det er ikke lovligt at benytte gråt vand. I Danmark er der på forsøgsbasis bygget ca. 300-400 regnvands-/gråvandsanlæg, og på basis af den ændrede bekendtgørelse vil der blive bygget flere regnvandsanlæg rundt omkring i landet, hvilket i det enkelte forsyningssystem kan give anledning til forurening af store mængder vandværksvand og spredning af bakterier i tilfælde af dårlig projektering/konstruktion/drift/vedligeholdelse. Undersøgelsens formål er at undersøge størrelsen af denne risiko.

1.2 Risikoanalyse

<i>Risikoanalysens formål</i>	Risikoanalysen har til formål, dels at give en beskrivelse af risici i forbindelse med projektering/konstruktion/drift/vedligeholdelse af et anlæg, dels at danne baggrund for at kunne foreslå ændringer i projektering/konstruktion/drift/vedligeholdelse, der kan begrænse risici. Denne begrænsning kan foregå på to måder – enten ved at begrænse konsekvensen af en given uønsket hændelse eller ved at minimere hyppigheden, hvormed hændelsen kan indtræffe.
<i>Rammerne for risikoanalyse</i>	Detaljeringsgraden af en risikoanalyse kan være meget forskellig, men den er et vigtigt punkt for at få et brugbart resultat. I nogle tilfælde vil en simpel overordnet gennemgang af risici i forbindelse med et anlæg være tilstrækkelig til at estimere sandsynlighederne for de uønskede hændelser, og måske konkludere, at der ikke kan forekomme større uheld. I sådanne tilfælde er det ikke nødvendigt med yderligere analyser. I andre tilfælde vil det være nødvendigt med en omfattende og detaljeret analyse, således at en fyldestgørende dokumentation af risici kan fremlægges på en struktureret måde. Desuden er det vigtigt at sætte rammerne for indholdet af risikoanalysen. I forbindelse med risikoanalysen i denne rapport, er det kun risici forbundet med forurening af den offentlige vandforsyning, der inddrages og ikke generelle defekter på anlægget, såfremt de ikke forårsager mulig forurening af den offentlige vandforsyning.
<i>Ophugning af risikoanalyse</i>	I alle tilfælde vil en struktureret risikoanalyse indeholde følgende punkter: <ul style="list-style-type: none"> • Anlægsbeskrivelse En principskitse af anlægget samt en beskrivelse af samtlige komponenter, der indgår i anlægget, således at evt. "svage" led kan identificeres. Principskitsen

skal angive placering, udformning og dimensioner af anlæggets enkelte dele samt placeringen af anlægget i forhold til omgivelserne. Desuden en beskrivelse af driftsforhold (herunder styreenhed) og sikkerhedsforhold.

- Identifikation af mulige risici

En identifikation af mulige uønskede risici inden for rammerne sat for risikoanalysen.

- Fejlanalyse

En identifikation af fejl og kombinationer af fejl (fejlsekvens), der kan føre til den uønskede hændelse. Til dette formål kan benyttes opstilling af fejltræer, således at fejlsekvenserne kan illustreres på en struktureret måde.

Kvalitativ/kvantitativ angivelse af sandsynlighederne

Til sidst i risikoanalyse kan der sættes sandsynligheder og konsekvenser på de uønskede hændelser. Dette kan gøres mere eller mindre kvantitativt. I den første rapport udarbejdet af PH-Consult for Miljøstyrelsen "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse", blev der opstillet en kvalitativ risikoanalyse, hvor der for hver af de uønskede hændelser blev opstillet fejltræer med de forskellige fejlkombinationer, der kunne føre til de uønskede hændelser. Der blev foretaget vægtninger således, at de farligste fejlkombinationer kunne lokaliseres. I denne rapport kvantificeres hver enkelt fejl, såfremt det er muligt.

Præcisering

Præcisering: I den kvalitative risikoanalyse lokaliseres/struktureres de forskellige fejlkombinationer, og der angives et relativt mål for hvor sandsynlig hændelsen/fejlen er, f.eks. sandsynlig eller sjælden. Konsekvensen angives ligeledes relativt, f.eks. som meget alvorlig eller alvorlig. I den kvantitative risikoanalyse angives et tal for sandsynlighed og konsekvensen. Dermed kan der beregnes en risiko, som er produktet af sandsynligheden og konsekvensen.

1.3 Historie

Faren ved regnvandsanlæg /gråvandsanlæg

I de sidste 100 år har adskillelse af rent og urent vand i huse været det grundlæggende koncept for bekæmpelse af vandbårne sygdomme. Dette har bevirket, at der er etableret to rørsystemer – et til transport af rent vand (trykssystem-vandforsyningen) og et til transport af urent vand (gravitationssystem-afløbssystem). Som noget nyt er der opstået en stor interesse for at benytte urent vand i husholdningen til wc-skyl og tøjvask. Dette bevirker, at der indføres et tredje rørsystem, som ligesom vandforsyningssystemet er et trykssystem. Den generelle bekymring vedrørende regnvandsanlæg/gråvandsanlæg er, at der på en eller anden måde kan opstå en forbindelse mellem de to trykssystemer og dermed kan der ske forurening af den offentlige vandforsyning.

Projekter fra Miljøstyrelsen og By- og Boligministeriet

Dette har bevirket, at Miljøstyrelsen og By- og Boligministeriet har igangsat adskillige projekter, som skal fremlægge fordele/ulemper samt risici ved brug af regnvand og gråvand i husholdninger til wc-skyl og tøjvask. To rapporter blev udgivet i henholdsvis januar og juli 1998 – Boligernes vandforbrug – Den udnyttelige regnvandsressource og Boligerne vandforbrug – Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og gråvandsanlæg. Disse to rapporter undersøgte henholdsvis, hvor meget grundvand, der kan spares ved brug af regnvand, og hvordan hygiejnen ved brug af regnvand/gråvand er.

Den første rapport – Boligernes vandforbrug – Den udnyttelige regnvandsressource konkluderede, at med de eksisterende tage vil der til husholdningsbrug (wc-skyl og tøjvask) på landsplan realistisk kunne forbruges små 64 mio. m³ af det opsamlede regnvand. Dette svarer til 22 % af det nuværende vandforbrug i husholdningerne. Sammenlignes den opsamlede regnmængde med vandforbruget til wc-skyl og tøjvask, vil regnvandet kunne erstatte 68 % af dette vandforsyningsvand. I forhold til den totale vandindvinding er der imidlertid kun tale om 7 %.

Den anden rapport – Boligernes vandforbrug – Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og grävandsanlæg konkluderede, at der ved at anvende regnvand til wc-skyl frem for vandværksvand i boligerne introduceres mikroorganismer, der ellers ikke plejer at forekomme i forbindelse med vandværksvand. Smitterisikoen ved anvendelse af urent vand i wc'er vurderes at være lille.

Det skal her bemærkes, at de anlæg, der blev benyttet til den mikrobiologiske undersøgelse ikke overholder den nye anvisning udarbejdet af Teknologisk Institut, Rørcentret, og dermed må det forventes, at vandkvaliteten i disse anlæg er dårligere end i de nyere anlæg blandt andet på grund af manglende filtrering.

Aktionsplanen

Foruden de før omtalte to rapporter, er der i forbindelse med Miljøstyrelsens Aktionsplan igangsat adskillige andre projekter omhandlende anlæg til brug af regnvand og grävand. I de følgende to afsnit gengives først de vigtigste konklusioner fra den første rapport "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse" og dernæst beskrives fremgangsmåden for den kvantitative risikoanalyse.

1.4 Resume af den kvalitative risikoanalyse

Den kvalitative risikoanalyse

I 1999 gik PH-Consult for Miljøstyrelsen i gang med at udarbejde en kvalitativ risikoanalyse af et regn- og et grävandsanlæg samtidig med, at Teknologisk Institut, Rørcentret udarbejdede en anvisning i konstruktion af et regnvandsanlæg. Rørcenterets anvisning og PH-Consult's første rapport er udarbejdet sideløbende, således at anlægget beskrevet i anvisningen er blevet ændret, når væsentlige risici blev lokaliseret via fejltræerne og omvendt. I den kvalitative risikoanalyse blev der taget udgangspunkt i typiske anlægskonstruktioner for begge typer anlæg. I rapporten analyseres risici for fejl i de to anlægstyper ved hjælp af fejltræer. Fejltræer er en logisk struktur med hvilken, man sikrer sig, at der er foretaget en systematisk og altomfattende analyse af mulighederne for fejl. I fejltræet indgår symboler, som refererer til såkaldt "boolsk logik" og tilsvarende sandsynlighedsberegning.

De vigtigste konklusioner af den kvalitative risikoanalyse er følgende:

Metoden:

Teknisk risikoanalyse er en egnet metode til systematisk undersøgelse af tekniske risici ved anvendelse af vand fra regnafstrømning fra tage og rensset grävand fra bad og vaskemaskine i husholdninger til wc-skyl og til tøjvask. Metoden omhandler risici for urent vand i vandforsyningen, men ikke risici i form af smittefare.

Regnvandsanlæg/gråvandsanlæg:

Det kan konstateres, at de største risici ved de af Teknologisk Institut anbefalede udformninger af et regnvandsanlæg og for et typisk gråvandsanlæg er forbundet med mulighederne for at foretage utilsigtede forbindelser mellem det ordinære rørsystem, som fører vandværksvand i husholdningen, og rørsystemet, som leder regnvandet til genanvendelse.

Projekteringsfejl/udførelsesfejl:

Den største risiko ved afvigelse fra de gældende regler omkring bygning af regnvandsanlæg og gråvandsanlæg er, at der skabes fejltilslutning mellem det ordinære rørsystem i husholdningen og rørsystemet, som leder regnvandet til genanvendelse. Det anbefales at sørge for omfattende og målrettet risikokommunikation til alle potentielle indehavere samt projekterende og udførende af regnvandsanlæg.

Mærkning:

Det anbefales at forlange klar og letlæselig mærkning af alle rør, som fører andet end ordinært vandforsyningsvand.

Sanktioner:

Fordi forurening af den offentlige vandforsyning har en stor eksponeringsflade, anbefales det, at der indføres sanktioner i tilfælde, hvor anlæg er udført af ikke-autoriserede personer.

Risikovurdering:

De analyserede risici ved et regnvandsanlæg opbygget efter Teknologisk Instituts anvisning er af styregruppen vurderet til at være acceptable. Det anbefales at lægge de analyserede risici for gråvandsanlæg til grund for endelige fastlæggelse af acceptable risici og ved valg af velegnede anlægsudformninger for gråvandsanlæg.

1.5 Kvantificering af risikoanalysen

Ønske fremført om kvantificering

Miljøstyrelsen samt repræsentanter fra vandværkerne fremførte senere det ønske, at der gøres en indsats for at komme tættere på en vurdering af de forventelige sandsynligheder forbundet med tilslutning af regnvands- og gråvandsanlæg til det offentlige vandforsyningsnet – altså en kvantificering af data fra den kvalitative risikoanalyse.

Grundlag for kvantificering

En kvantificering af data kræver kendskab til de enkelte komponenter, der indgår i det tekniske system og deres indbyrdes samspil. Data for komponenter, der er indbygget i regnvandsanlæg er ikke tilgængelige, da der ikke er indsamlet oplysninger om drift af anlæggene. I Tyskland er en del anlæg opført, men registrerede data mangler for de fleste af anlæggene. Der er primært blevet fokuseret på den mikrobiologiske side og ikke på fejl ved de enkelte komponenter. Derfor undersøges data på følgende måde:

- Ved at undersøge litteraturen for at identificere konkrete oplysninger om sandsynligheder, som er blevet undersøgt ved samme eller andre anlægstyper. Erfaringer fra eksisterende anlæg i Tyskland og Danmark, erfaringer fra atom industrien samt den kemiske industri inddrages.
- Ved at indsamle erfaringer fra folk, der har arbejdet med regnvandsanlæg.

- Ved undersøgelse af tal om holdbarhed og effektivitet fra producenterne af de enkelte komponenter, der indgår i anlægget (Nyrup Plast, Danfoss, Grundfos m.v.).
- Ved undersøgelse af om der forekommer oplysninger eller erfaringer i valgte institutioner i Danmark. Der kan findes data om strømafbrydelse (elselskaber), tordenvejr (Meteorologisk Institut), oversvømmelser (kommunale afløbsafdelinger, forsikringsselskaber).
- Ved at undersøge erfaringer fra vandværkskredse om data omhandlende kontraventil, magnetventil, tilbagestrømningssikring samt hvor ofte tryk går af det offentlige vandforsyningsnet.

*Risiko er lig produktet af sandsynligheden * konsekvensen*

Ved at undersøge ovenstående kan sandsynligheden for de farligste fejlkombinationer, lokaliseret under den kvalitative risikoanalyse, bestemmes. Det skal dog huskes, at risiko er defineret som sandsynligheden ganget med konsekvensen. Derfor er det vigtigt at bestemme konsekvensen, hvis en af de uønskede hændelser indtræffer. Konsekvensen kan udtrykkes ved mange forskellige mål, f.eks. udgiften ved at rense ledningsnettet efter forureningen, ved antal eksponerede husstande, ved antal eksponerede personer eller ved antal sygedage. Det er her valgt at udtrykke konsekvensen af de uønskede hændelser som antal eksponerede personer. Der tages derfor udgangspunkt i en dansk by, hvor der placeres et regnvandsanlæg/gråvandsanlæg. Den uønskede hændelse indtræffer enten fordi trykket går af nettet eller fordi trykket i det lokale system er større end trykket i det offentlige vandforsyningsnet, og det undersøges via modelberegninger, hvordan spredningen af forureningen foregår via distributionsnettet, og dermed hvor stort et antal personer, der eksponeres af forureningen. Forureningsgraden undersøges ikke. Der skelnes kun mellem rent vandværksvand og forurenat vandværksvand. Det næste skridt i en sådan undersøgelse er at skelne mellem hvilken type vand, der ledes ud i den offentlige vandforsyning - regnvand, spildevand eller gråt vand.

Kun de farligste fejlkombinationer kvantificeres

Det må imidlertid understreges, at det allerede før starten kan forudsiges, at der vil være fejlkombinationer, som ikke kan kvantificeres på simpel vis. Dette kan kun gøres ved kategorisering af omstændigheder, som vil påvirke sandsynlighederne i væsentligt omfang. Måden fejltræerne er opbygget på med OG/ELLER forbindelsesled bevirker dog, at når den farligste fejlkombination er kvantificeret, vil de resterende fejlkombinationer, der fører til den uønskede konsekvens, ikke påvirke sandsynligheden væsentligt, da de oftest vil være flere størrelsesordener mindre. Derfor er målet primært at kvantificere de farligste fejlkombinationer, der fører til de forskellige uønskede hændelser, og dernæst via modelberegninger bestemme konsekvensen ved de uønskede hændelser. Ud fra dette kan risikoen beregnes.

2 Risikoterminologien/metoder

Store og små ulykker har øget interessen for risikoanalyser

I de seneste år har store ulykker som Chernobyl, Seveso og Bhopal bevirket, at den folkelige interesse for risici i forbindelse med drift af store anlæg er øget. Men det er ikke kun store uheld, der har øget denne interesse. Uheld i vandforsyninger, som f.eks. Bellahøj, Uggeløse og mange andre har ligeledes bevirket, at der er blevet fokuseret mere og mere på måder at undgå disse former for uheld eller i hvert fald reducere risikoen for disse uheld. Det er hyppigt, at der i pressen nævnes en forurening forårsaget af et uheld på f.eks. et industrianlæg, et fjernvarmeanlæg m.v.. I forbindelse med indførelsen af regnvandsanlæg er der blevet fokuseret på muligheden for forurening af den offentlige vandforsyning ved fejlforbindelser mellem det lokale genbrugssystem og det offentlige vandforsyningsnet.

Mange har den holdning, at sådanne uheld aldrig må ske igen og opmærksomheden i forbindelse med sådanne uheld er stor, da det truer tilliden til vores drikkevands hygiejniske kvalitet. Men enhver logik siger, at det er umuligt at udelukke sådanne uheld. Der vil altid eksistere risici i forbindelse med drift af alle former for tekniske anlæg. Det er til gengæld vigtigt at udnytte den teknologiske viden og samtidig holde risici i forbindelse med teknologien inden for acceptable grænser. Dette er et meget komplekst problem, hvor alle interessenter har deres mening, som oftest ikke er ens. Det er vigtigt ved såvel formuleringen og ved problemløsningen at tilgodese disse meninger. Det skal ligeledes bemærkes, at det er langt fra alle forureninger af den offentlige vandforsyning, der opdages. Dette skyldes, at kravet til måling af vandkvaliteten i vandforsyningen udgør et begrænset antal gange om året. Antallet afhænger af vandforsyningens størrelse.

Fire hovedbegreber

Måden, hvorpå man kan analysere og derpå reducere eller måske helt fjerne risici primært i forbindelse med drift af et teknisk anlæg, er at foretage en detaljeret risikoanalyse af det tekniske anlæg. Risikoanalysen er dog kun en del af hele risikoværktøjet. Generelt opdeles risikoterminologien i fire begreber:

- ❑ Risikoanalyse
Risikoanalyse er den objektive analyse af sammenhænge. Risikoanalysen lokaliserer evt. risici og strukturerer disse, således at det store overblik opnås.
- ❑ Risikovurdering
Risikovurderingen er den politiske holdning til risikoanalysen. Risikovurderingen afgør, hvilke risici det politiske system er villig til at acceptere.
- ❑ Risikohåndtering
Risikohåndtering er et led efter risikovurderingen og omhandler love, bekendtgørelser, forbud, påbud, straffe og økonomiske styremidler m.v..
- ❑ Risikokommunikation
Risikokommunikationen er et af de vigtigste led i risikoterminologien. Formålet er at skabe forståelse for risici i forbindelse med det tekniske anlæg, da det er vigtigt, at forståelsen findes på alle niveauer, således at evt. fejl kan håndteres og måske helt undgås.

2.1 Begreber i risikoanalysen

I dette afsnit vil alle begreber, som benyttes i forbindelse med risikoanalysen blive defineret og forklaret.

2.1.1 Opdeling af fejl

Opdeling af fejl

I Skema 2.1 er mulige fejl ved projektering/konstruktion/drift/vedligeholdelse af et regnvandsanlæg listet på en systematisk måde.

Fejlene kan opdeles i to grupper:

1. Projekteringsfejl/udførelsesfejl
2. Komponentfejl
 - Primær fejl (normalt belastet)
 - Sekundær fejl (overbelastet)
 - Nabokomponent
 - Omgivelser
 - Betjening

Hvis det aktuelle regnvandsanlæg overholder den anvisning, som er udarbejdet af Teknologisk Institut, Rørcentret falder de mulige fejl ind under gruppen "komponentfejl". Hvis anvisningen ikke er overholdt hører fejlene til gruppen "projekteringsfejl/udførelsesfejl".

Komponentfejl

Som det fremgår, kan komponentfejl opdeles i primær fejl og sekundær fejl, hvor primær fejl beskriver en fejl på en komponent i normalt belastet tilstand, mens en sekundær fejl beskriver en fejl på en komponent i overbelastet tilstand eller forårsaget af andre faktorer (eksterne).

Komponentfejl - primærfejl

En primær fejl kan forårsages af slid, tilstopning, korrosion eller komponenten kan blive defekt. Måden at forebygge/behandle en primær fejl på er ved præventiv vedligeholdelse eller ved reparation.

Komponentfejl - sekundærfejl

En sekundær fejl kan opstå ved, at en nabokomponent fejler eller ved at omgivelser påvirker komponenten f.eks. ved en elafbrydelse eller ved fejlbetjening af anlægget, eller at komponenten generelt er overbelastet set i forhold til komponentens design belastning.

Projekteringsfejl /konstruktionsfejl

Selvom der udarbejdes et regelsæt for bygning af regnvandsanlæg, er der ingen garantier for, at denne anvisning overholdes, og derfor er det nødvendigt at betragte projekteringsfejl og udførelsesfejl. Der vil altid være nogen, som mener, at de selv kan bygge anlægget, også selvom det er i strid med krav om, at arbejdet skal udføres af autoriserede fagfolk.

Fejl og konsekvens

Projektering/udførelsesfejl	Komponent fejl			
	Primær (normalt belastet)	Nabo komponent	Sekundær (overbelastet)	
<ul style="list-style-type: none"> Fast kortslutning Mgl. luftgab For lavt placeret luftgab Mgl. kontraventil Mgl. filtrering Mgl. sikring mod tilbagestrømning Mgl. mærkning af ledninger/hane Oppumpning fra tank Fejl i automatisk styring Anvendelse af ikke-godkendte tagflader Mgl. godkendelse Ikke autoriseret-håndværk Tankmateriale Indløb til tank (sedimentation) Taphane på regnvandsanlæg (placering) Fejl ved overløb fra tank Fejl ved rørtilslutning til lokalt net Fejl ved rørtilslutning til offentligt net Fejl ved regnafløb eller ved overløb i tank Studs på lokalt regnvandsnet 	<p>Årsager</p> <ul style="list-style-type: none"> Slid Tilstopning Korrosion Tilfældig defekt <p>Handlinger</p> <ul style="list-style-type: none"> Præventiv vedligeholdelse Reparation <p>Eksempler</p> <ul style="list-style-type: none"> Kontraventil Sikring (to steder - nødoverløb, hovedkloak) Filter Tank Pumpe Styreenhed 	<ul style="list-style-type: none"> Ref. til primær fejl hos nabo 	<p>Omgivelser</p> <ul style="list-style-type: none"> Elafbrydelse Elchok (tordenvejr, kortslutning) Oversvømmelse Hærværk 	<p>Betjening</p> <ul style="list-style-type: none"> Uvidenhed Mgl. vedligeholdelse Rensning af anlæg (ledn. i tank) Fejltilslutning Brugsfejl

Figur 2.1: Fejlene opdelt i projekteringsfejl/udførelsesfejl samt komponentfejl.

2.1.2 Definition af begreber

Opdeling af risikoanalysen

Risikoanalyse er et begreb, som defineres på mange forskellige måder. Derfor er det vigtigt at præcisere, hvordan opbygningen af risikoanalysen i forbindelse med et regnvandsanlæg/gråvandsanlæg fortolkes i denne rapport. Følgende begreber vil blive benyttet til beskrivelsen af risikoanalysen:

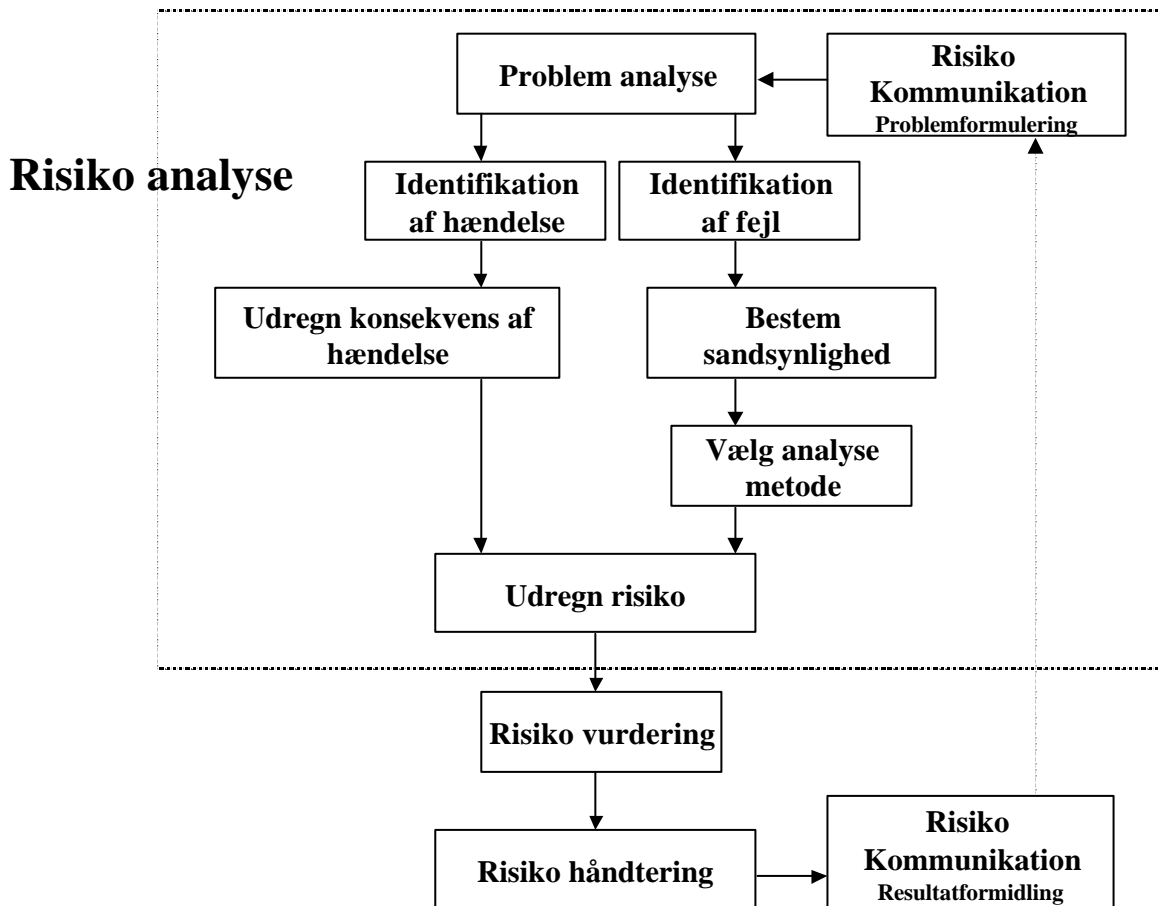
<i>Fejlkombination</i>	<ul style="list-style-type: none">• Fejlkombination Beskriver antallet af fejl samt rækkefølgen af fejl, der kan ske i et anlæg før en given uønsket konsekvens indtræffer.
<i>Sandsynlighedsniveau</i>	<ul style="list-style-type: none">• Sandsynlighedsniveau Sandsynlighedsniveauet beskriver sandsynligheden for, at en fejl opstår. Sandsynlighedsniveauet kan angives på 2 former:<ul style="list-style-type: none">• <i>Hyppighed</i> - angives som en fejlrate pr. år. For at angive denne sandsynlighed, er det nødvendigt, at der er adgang til historiske data omhandlende hyppigheden af svigt og længden af reparationstiden efter et svigt. Disse data kan skaffes på forskellig vis. I det tilfælde, hvor det er et allerede eksisterende anlæg, anvendes erfaringer fra anlægget om, hvor ofte en given komponent har været defekt eller af anden grund ikke har opfyldt sin funktion. For det tilfælde, at det er tale om et anlæg, der endnu ikke har været i drift, må der indsamles erfaringer fra andre tilsvarende anlæg eller fra generel viden om de enkelte komponenters effektivitet fra fagbøger m.v.. I sådanne tilfælde er det vigtigt at benytte data med et vist forbehold, da komponenten sandsynligvis ikke er benyttet i et anlæg af samme størrelse eller under samme forhold. Der vil altid knytte sig en stor usikkerhed til disse tal. Derfor er det klart at foretrække at benytte tal fra tidligere erfaringer fra samme type anlæg som det undersøgte.• <i>Brøkdelt</i> - fejlen angives som en brøkdelt dvs. antallet af fejl af en samlet mængde. F.eks. antallet af defekte pumper ud af en større mængde.
<i>Sikkerhedsniveau</i>	<ul style="list-style-type: none">• Sikkerhedsniveau Sikkerhedsniveauet er en sandsynlighed, der beskriver produktet af sandsynlighederne for en fejlkombination. Afhængig af antallet af fejl i fejlkombinationen og sandsynlighedsniveauet fejlene har, opnås et sikkerhedsniveau, som altid angives pr. tidsenhed.
<i>Konsekvens</i>	<ul style="list-style-type: none">• Konsekvens Konsekvensen af en uønsket hændelse kan opgøres forskelligt, f.eks. som udgiften i forbindelse med rensning af ledningsnettet efter forureningen eller antal personer eller husstande, der eksponeres af forureningen m.v.. Konsekvens kan ligesom sandsynlighedsniveauet enten angives kvalitativt eller kvantitativt.
<i>Risiko</i>	<ul style="list-style-type: none">• Risiko Definitionen på risiko er nok den vigtigste af alle: Risiko udtrykker kombinationen af sandsynligheden for en hændelse og den uønskede konsekvens af hændelsen. Den uønskede konsekvens opfattes i denne sammenhæng som eksponeringen af et antal personer til urent vand i vandforsyningen. Kombinationen kan i denne sammenhæng opfattes som produktet: "hyppighed * antal eksponerede personer", fordi begge begreber er kvantificeret, dvs. udtrykt i tal.

I andre sammenhæng skelnes der til tider mellem selve konsekvensen og konsekvensens "alvor". Den uønskede konsekvens kunne opfattes som en persons eksponering til urent vand i vandforsyningen. Alvoren kunne i denne sammenhæng opfattes som antallet af personer, som eksponeres til urent vand i vandforsyningen. Brug af ordet "alvor" stammer fra WHO's risiko definition hvor det engelske ord "severity" er benyttet.

En uønsket konsekvens er i princippet udtryk for samfundets tab af værdier, som tab af menneskeliv, skader, omkostninger, ulemper, m.v.. Idealet i denne sammenhæng ville være at inddrage alvoren af de sygdomme, som eksponering kunne give anledning til; men der foreligger ikke videngrundlag for at inddrage dette i undersøgelsen.

Som angivet i et tidligere afsnit er sandsynligheden i denne sammenhæng at opfatte som et sikkerhedsniveau, dvs. en hyppighed angivet som antallet af den uønskede hændelse per tidsenhed. Konsekvensen kan betragtes som antallet af eksponerede personer. Da er risikoen lig produktet af sikkerhedsniveauet (hyppigheden) og konsekvensen (antallet af personer). Risikoen kan fortolkes som det gennemsnitlige tab af værdier over mange år, som påføres samfundet ved at have regnvands- og gråvandsanlæg i forbindelse med vandforsyningen.

Figur 2.2: Overbliksbillede af de forskellige begreber, der benyttes i risikoterminologien og deres indbyrdes sammenhæng.



På figur 2.2 ses et overblik over de enkelte begreber, der benyttes i forbindelse med risikoterminologien.

Beskrivelse af sammenhængen vist på figur 2.2

Som det fremgår af figuren er der ikke en fast rækkefølge i hvordan begreberne benyttes. Det er ikke så firkantet, at risikoanalysen er først, dernæst risikovurderingen, risikohåndteringen og til sidst risikokommunikationen. Der vil oftest være et overlap mellem disse fire begreber. Risikoanalysen kan fortolkes på forskellig vis afhængig af om, der vælges en kemisk indgangsvinkel eller en teknisk. Den benyttede fortolkning af risikoanalysen i denne rapport fremgår ligeledes af figuren. Øverst er problemanalysen placeret. Dernæst deler diagrammet sig i to strenge – identifikation af uønskede hændelser og identifikation af fejl, der fører til de uønskede hændelser. For hver af de identificerede uønskede hændelser bestemmes konsekvensen samtidig med, at sandsynligheden for hver enkelt fejl i fejkombinationerne, der fører til de uønskede hændelser bestemmes. Dernæst udvælges en analysemetode; altså en præsentationsmetode, som fejkombinationerne og dermed resultaterne kan struktureres på. Til sidst udregnes risikoen som produktet mellem de to grene – konsekvensen og sandsynligheden.

Risikovurderingen, risikohåndteringen samt risikokommunikationen inddrages undervejs i analysen, når det skønnes nødvendigt. I forbindelse med problem analyse inddrages specielt risikokommunikation, problemformulering, hvor folk, der arbejder med det tekniske anlæg inddrages i analysen. Det er vigtigt at have et så godt kendskab til det tekniske anlæg som muligt.

Sandsynligheden i teknisk risikoanalyse er at opfatte som et udtryk for, hvor hyppigt en fejl kan ske; f.eks. for et givent anlæg 10^{-3} pr. år = hvert tusinde år, eller blandt 1000 anlæg 1 gang pr. år. Risikoen udtrykkes da som antallet af mennesker, som udsættes for urent vand i deres vandhane, og hvor sjældent det vil ske.

2.2 Metoder

Forskellige analyse og resultatspræsentationsmetoder

Før en uønsket hændelse kan kvantificeres, er det en forudsætning, at den er identificeret. Der findes flere mere eller mindre anerkendte analyse-/præsentationsmetoder, når der er tale om risikoanalyse/vurdering. Selve analysen ved alle metoder ligner hinanden, eller indeholder de samme elementer, men fremgangsmåden og resultatpræsentationen er meget forskellig. I dette underafsnit vil følgende udvalgte metoder kort blive beskrevet:

- Bayesian Belief Networks / Causal Probabilistic Networks
- FMEA
- HAZOP
- Fejltræsmetoden

Der vil primært blive fokuseret på fejltræsmetoden, da denne er valgt som den bedst egnede præsentationsmetode for den aktuelle problemstilling.

2.2.1 Bayesian Belief Networks / Causal Probabilistic Networks

Bayesian Belief Networks

Ved Bayesian Networks betragtes et teknisk anlæg som bestående af et antal komponenter, som kan befinde sig i givne tilstande. Tilstanden af en given komponent kan udtrykkes som sandsynligheder betinget af andre komponenters tilstand. På denne måde er det muligt at opbygge et netværk bestående af indbyrdes afhængige komponenter/hændelser, som kaldes et Bayesiansk eller Kausalt Netværk ("Bayesian Belief Networks" eller "Causal Probabilistic Networks").

Følgende fordele kan nævnes ved Bayesianske Netværk:

- ❑ Grafisk opstilling
- ❑ Gode muligheder for at beskrive indbyrdes afhængigheder
- ❑ Lagdelt kompleksitet (overblik kræver ikke detail kendskab og omvendt)
- ❑ Et godt værktøj findes (også som programkomponenter til opbygning af specielle versioner)
- ❑ Meget let at tilføje og fjerne komponenter
- ❑ Meget let at omdefinere en komponents tilstand
- ❑ Indbygget metodik til håndtering af usikre sandsynligheder (lille data grundlag)

Bayesian Belief Networks metoden er særlig velegnet til komplekse tekniske systemer med stor indbyrdes afhængighed mellem fejlene. Store netværk kan være vanskelige at håndtere. Ved mindre indbyrdes afhængighed opnås som regel et lettere tilgængeligt overblik ved fejltræsmetoden (beskrives nedenfor).

2.2.2 FMEA – Fejlmåde og effektanalyse

FMEA er en forkortelse af det engelske udtryk Failure Mode and Effect Analysis.

Definition af FMEA

FMEA er en metode, hvor enhver potentiel fejlmulighed analyseres for at bestemme dens effekt på systemet og for at klassificere fejlen efter, hvor alvorlig den er. Målet er at identificere de kritiske områder i systemet, hvor ændringer er nødvendige for at reducere sandsynligheden for fejl. Metoden gør brug af standardskemaer som hjælp til analysen og som dokumentation. Der gennemgås de fejlmåder, der findes for hver komponent.

For hver fejlmåde beskrives, hvilken effekt denne har for den betragtede anlægsdel, samt hvilke årsager, der findes for denne fejlmåde. Desuden noteres, hvordan fejlmåden opdages, og om der er mulighed for at gribe ind og rette fejlen. Til sidst noteres om fejlmåden er af så alvorlig karakter, at den skal indgå i den videre analyse, eller om den skal udelades. Herved dannes en systematisk dokumentation, hvor de væsentlige fejlmåder for komponenterne er beskrevet. Ligeledes er det muligt på et senere tidspunkt at redegøre for, hvorfor en given fejlmåde ikke er medtaget i analysen.

2.2.3 HAZOP - "Hazards and operability study"

Definition af HAZOP

HAZOP er forkortelse af det engelske udtryk HAZards and Operability study.

Formål med HAZOP

HAZOP-metoden er en kvalitativ risikoanalysemetode, hvilket vil sige, at man søger at kortlægge hvilke typer af fejl, der kan opstå i forbindelse med en

eksisterende proces og ved ændringen af en eksisterende proces. Analysen tager højde for sikkerhedsspørgsmål i forbindelse med processen og dennes funktionalitet. HAZOP-metoden er baseret på brainstorming i mødeform, og har i mange år været anvendt til at bestemme risici i forbindelse med nuklear og kemiske anlæg, og har vist sig at være et stærkt og struktureret værktøj til også at identificere og bedømme risici i forbindelse med andre typer af projekter.

Fremgangsmåden i HAZOP

Følgende faser er indeholdt i en HAZOP-analyse:

- ❑ Først fastsættes et sæt af ledeord, som under analysen kobles med parametre i processen.
- ❑ Efter opstilling af ledeord koblet med en parameter gennemgås alle afvigelser for det givne system. Det vigtigste i dette trin er at have en god forståelse for processen, for derved at kunne identificere de væsentlige afvigelser.
- ❑ Når man for hver type ledeord og for en given parameter har identificeret de mulige afvigelser skal årsagerne til afvigelse bestemmes. Disse er typisk årsager, der kan relateres til nogle mekaniske komponenter i processen, funktionsmåder af processen, eller eksterne påvirkninger.
- ❑ Når årsagerne er bestemt listes herefter konsekvensen af afvigelsen. Afhængigt af, om konsekvensen for en afvigelse er betydelig eller ej går man videre til den næste fase i HAZOP-analysen.
- ❑ Den afsluttende fase i analysen er at foreslå nogle modforanstaltninger for at undgå de uønskede konsekvenser.

Alle faserne i HAZOP-analysen kan indtastes i et såkaldt HAZOP-skema.

2.2.4 Fejltræsmetoden

Definition på fejltræsmetoden

En fejltræsanalyse er en metode, som baserer sig på analyse af en type uheld (en uønsket konsekvens) ad gangen. Der kan således for et teknisk anlæg være adskillige fejltræer, som alle fører til hver sin uønskede konsekvens/uheld. Resultatet af en fejltræsanalyse er, at der for hvert fejltræ er angivet alle kombinationer af individuelle fejl, som kan føre til den uønskede konsekvens i fejltræets logiske struktur. Fejltræmetoden er velegnet som analysemetode ved kvantificering af uønskede hændelser for et givent teknisk anlæg.

To forskellige fremgangsmåder

Der kan benyttes to forskellige fremgangsmåder ved opbygning af et fejltræ /4/ og /5/:

1. Den konvergerende (induktiv) fremgangsmåde
2. Den divergerende (deduktiv) fremgangsmåde

Den konvergerede fremgangsmåde

Den konvergerende fremgangsmåde/analyse starter forneden af træet med et sæt af komponentfejl og fortsætter op gennem træet ved at identificere mulige konsekvenser. Metoden kan kaldes "hvad sker, hvis...-metoden".

Den divergerede fremgangsmåde

Den divergerende fremgangsmåde/analyse kan kaldes "hvad kan forårsage dette...-metoden". Fejltræet startes i toppen med en uønsket konsekvens og forgrener sig nedad visende årsagerne til denne konsekvens. På denne måde bliver begivenheder på et niveau i fejltræet hele tiden uddybet i underbegivenheder, der befinder sig et eller flere niveauer lavere.

Der er her valgt at benytte den divergerende fremgangsmåde til beskrivelse af fejltræer opbygget ud fra en principskitse af det anbefalede regnvandsanlæg.

Fejltræets byggelementer For at bygge et fejltræ benyttes nogle standardiserede byggelementer. Der er to slags:

- Forbindelsesled ("gates")
- Begivenheder ("events")

Forbindelsesled gør det muligt at starte i bunden af fejltræet og følge fejllogikken op gennem fejltræet og vise sammenhængen mellem de enkelte begivenheder, som benyttes til at beskrive den uønskede konsekvens.

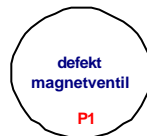
Begivenhedselementerne er opdelt efter følgende princip:

- Primære fejl
- Sekundære fejl
 - Nabokomponent
 - Omgivelser
 - Betjening

Foruden disse er der indført to elementer, som beskriver en konsekvens og en tilstand.

Primær fejl

Primære fejl er symboliseret som vist på Figur 2.3.



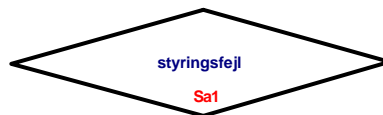
Figur 2.3

Primær fejl symboliseret ved en cirkel. Beskrivelsen af fejlen står i cirklen, mens det lille nummer nederst i cirklen henviser til et nummer, hvor fejlen er yderligere uddybet.

Som det fremgår er en primær fejl symboliseret ved en cirkel, hvor fejlen er angivet inde i cirklen ("defekt magnetventil"). Nummeret, som står skrevet i cirklen, henviser til, at det er en primær fejl ("P" for primær), og at det er fejl nummer 1 indenfor kategorien primære fejl. Nummeret skal benyttes som henvisning til en mere detaljeret beskrivelse af fejlen.

Sekundær fejl

Sekundære fejl er underopdelt i tre grupper – nabokomponenter, omgivelser og betjening. På henholdsvis Figur 2.4, 2.5 og 2.6 ses det element, der symboliserer nabokomponent, omgivelser og betjening.

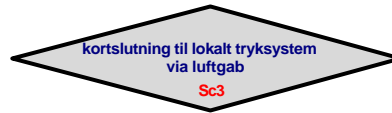


Figur 2.4

Sekundær fejl af typen nabokomponent. Beskrivelsen af fejlen står i elementet, mens det lille nummer nederst i cirklen henviser til et nummer, hvor fejlen er yderligere uddybet.



Figur 2.5
Sekundær fejl af typen omgivelser. Beskrivelsen af fejlen står i elementet, mens det lille nummer nederst i cirklen henviser til et nummer, hvor fejlen er yderligere uddybet.



Figur 2.6
Sekundær fejl af typen betjening. Beskrivelsen af fejlen står i elementet, mens det lille nummer nederst i cirklen henviser til et nummer, hvor fejlen er yderligere uddybet.

I de enkelte elementer er der angivet den specifikke fejl. Det røde nummer er opbygget således, at "S" står for sekundær, mens a, b og c står for henholdsvis nabokomponent, omgivelser og betjening. Det sidste nummer er nødvendigt, da der forefindes flere fejl end en enkelt i de forskellige undergrupper.

Konsekvens-elementet

Den næstsidste elementtype, som skal beskrives, er konsekvens-elementet. Alle de før omtalte fejl fører til en eller anden konsekvens. Derfor er det nødvendigt at indføre et konsekvens-element. Dette er angivet i Figur 2.7.



Figur 2.7
Konsekvens-element. Konsekvensen står beskrevet i elementet, mens den røde skrift henviser til et nummer, hvor konsekvensen er yderligere uddybet.

Som det fremgår er konsekvens-elementet symboliseret ved et rektangel, hvor konsekvensen ("spildevand i kælder") er angivet inde i elementet. Nummeret, som står skrevet inde i elementet, henviser til, at det er en konsekvens ("K" for konsekvens), og at det er konsekvens nummer 4.

Den sidste elementtype, som benyttes til opbygning af fejltræer, er tilstandselementet. Dette element beskriver en tilstand i anlægget som f.eks. at der er regnvand i regnvandstanken. Det er jo ikke overraskende, at denne situation opstår, men for at bevare logikken i fejltræerne, er det vigtigt, at denne er angivet. Et tilstandselement er angivet på Figur 2.8.

Figur 2.8



Tilstandselement. Tilstanden står skrevet i elementet, mens den røde skrift henviser til et nummer, hvor tilstanden er yderligere uddybet.

Forbindelses-elementet

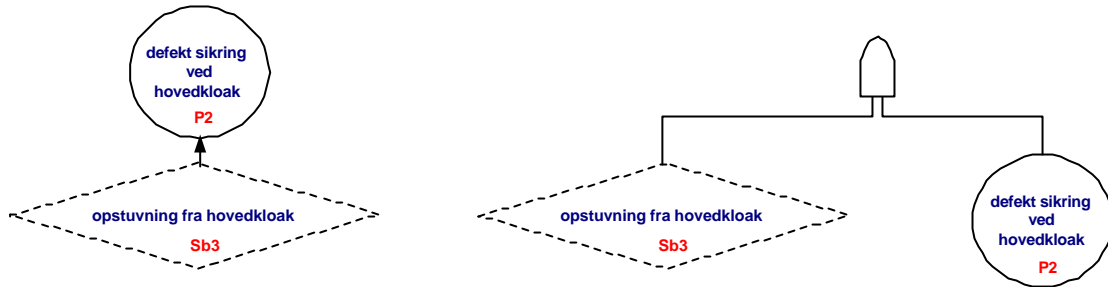
I denne beskrivelse af fejltræer benyttes kun forbindelses-elementet, der er vist på Figur 2.9.



Figur 2.9
Forbindelses-element "eller".

Og-/eller-elementet

Forbindelselementet benyttes i de tilfælde, hvor fejltræet deler sig i to eller flere grene. Der kan både benyttes et "eller"-element, som er vist på Figur 2.9 eller et "og"-element. I beskrivelsen af fejltræ til det anbefalede regnvandsanlæg benyttes kun "eller"-elementet. Der er ikke benyttet elementet "og", fordi dette er formuleret som en sekvens af begivenheder. Dette kunne også være fremstillet med et "og", fordi "sekvens" ikke skal opfattes som sekvens i tid, men som en vægtning af et sæt af hændelser. F.eks. kan de to fremstillinger angivet på Figur 2.10 opfattes som udtryk for det samme:



Figur 2.10

To fremstillinger, der symboliserer det samme. Forskellen er, at der i den ene fremstilling er benyttet elementet "og", mens dette ikke er benyttet i den anden fremstilling.

Betragtes figur 2.10 er pointen, at begge begivenheder skal ske samtidig, for at en given konsekvens optræder. Hvis der opstår en defekt ved sikringen ved hovedkloakken og der ikke samtidig sker opstuvning i hovedkloakken, betyder det intet, at sikringen ikke virker. At begge begivenheder skal indtræffe samtidig, kan beskrives på begge de i Figur 2.10 viste måder.

Dette er grundelementerne til opbygning af et fejltræ. Vendes kort tilbage til begreberne, der benyttes til at beskrive risikoanalysen, mere specifikt sikkerhedsniveauet, som tidligere blev defineret som produktet af sandsynlighederne for en fejlkombination, hvilket er korrekt, når der kun betragtes en fejlkombination. Når der er tale om hele fejltræet og sandsynligheden for, at hovedkonsekvensen indtræffer, må man tage højde for alle de fejlkombinationer, som fører til hovedkonsekvensen. Derfor er man nødt til i beregningerne at tage hensyn til de to forbindelsesled, der benyttes i konstruktionen af et fejltræ. Efter en gennemgang af byggelementerne benyttet til opbygning af et fejltræ, fremgår det, at der er to forskellige forbindelsesled. Disse to led skal behandles forskelligt, når sandsynligheden for hovedkonsekvensen skal bestemmes /4/ og /5/.

Fremgangsmåde ved ELLER-forbindelsesled

Ved et ELLER-forbindelsesled skal sandsynlighederne for de indgående komponenter adderes.

Fremgangsmåde ved OG-forbindelsesled Uafhængighed fejlene indbyrdes

Ved et OG-forbindelsesled multipliceres sandsynlighederne.

Dette er under forudsætning af, at de indtrufne fejl og hændelser er uafhængige. I virkeligheden vil det ikke altid være sådan, da fejlene kan påvirke hinanden og dermed forøge sandsynligheden for, at fejl nummer 2 i fejlsekvensen sker oftere.

Følgende kan opsummeres vedr. fejltræmetoden:

Fordele ved fejltræer

Fordele ved fejltræer:

- ❑ Brugbar for komplekse systemer
- ❑ Inkluderer kun komponentfejl, som fører til den uønskede konsekvens
- ❑ Giver en god forståelse for, hvordan systemet kan fejle
- ❑ Overskuelig til brug ved præsentation af systemets fejlmuligheder
- ❑ Menneskelige fejl kan let inddrages
- ❑ Risikoen for den uønskede konsekvens kan let udregnes
- ❑ Følsomhedsanalyser kan udføres

Ulemper ved fejltræer

Ulemper ved fejltræer:

- ❑ Tidsperspektivet er ikke medtaget – alle fejl skal ske samtidigt
- ❑ Der er ikke mulighed for at gå tilbage i fejltræet

3 Regnvandsanlæg

I dette kapitel beskrives det anbefalede regnvandsanlæg, som er udgangspunkt for risikoanalysen.

3.1 Beskrivelse af regnvandsanlæg

På Figur 3.1 ses en principskitse af et ”typisk” regnvandsanlæg, som overholder anvisning fra Teknologisk Institut/1/.

Nedenfor gives en kort forklaring af principperne i et regnvandsanlæg. Tallene, der er angivet i parentes, henviser til de enkelte komponenter, angivet på principskitsen.

Princippet i et regnvandsanlæg

Princippet i et regnvandsanlæg er relativt simpelt: Regnvandet opsamles fra tagfladerne og ledes via nedløbsrøret gennem et filter (1) ind i tanken (3). Filterets funktion er at fjerne blade mv., som kan stoppe pumper og rør. Regnvandstanken (3) er både forsynet med et overløb (8) i tilfælde af ekstreme regnhændelser, hvor der ledes mere regnvand til tanken, end der forbruges i boligen og med en drikkevandstilledning (11) for perioder, hvor der ikke produceres nok regnvand til at dække behovet.

Tilledning af vandværksvand

Tilledningen af vandværksvand styres via en magnetventil (10) som aktiveres af den automatiske styreenhed (9), når vandstanden i regnvandstanken når en vis minimumsdybde. Tilledningen af vandværksvand skal ske enten via et luftgab (11) eller via en påfyldningscisterne. På vandværksledningen skal der desuden placeres en vandmåler (14), således at forbruget af vandværksvand kan registreres. I forbindelse med denne vandmåler installeres normalt ligeledes en kontraventil (16).

Kontraventil i forbindelse med vandværksledningen

Ved hver nybygget husstand skal der efter nuværende lovgivning installeres en kontraventil (19) ved stikledningen gående fra hovedledningen til den enkelte husstand, som ligeledes sidder i forbindelse med en vandmåler, således at den enkelte husstands samlede vandforbrug kan måles. Dette skal give en ekstra sikkerhed mod forurening af det offentlige vandforsyningsnet. Gamle husstande er ikke lovgivningsmæssigt forpligtet til installation af en kontraventil, men i forbindelse med installation af en vandmåler, skal der umiddelbart før eller i måleren placeres en kontraventil (16 & 19).

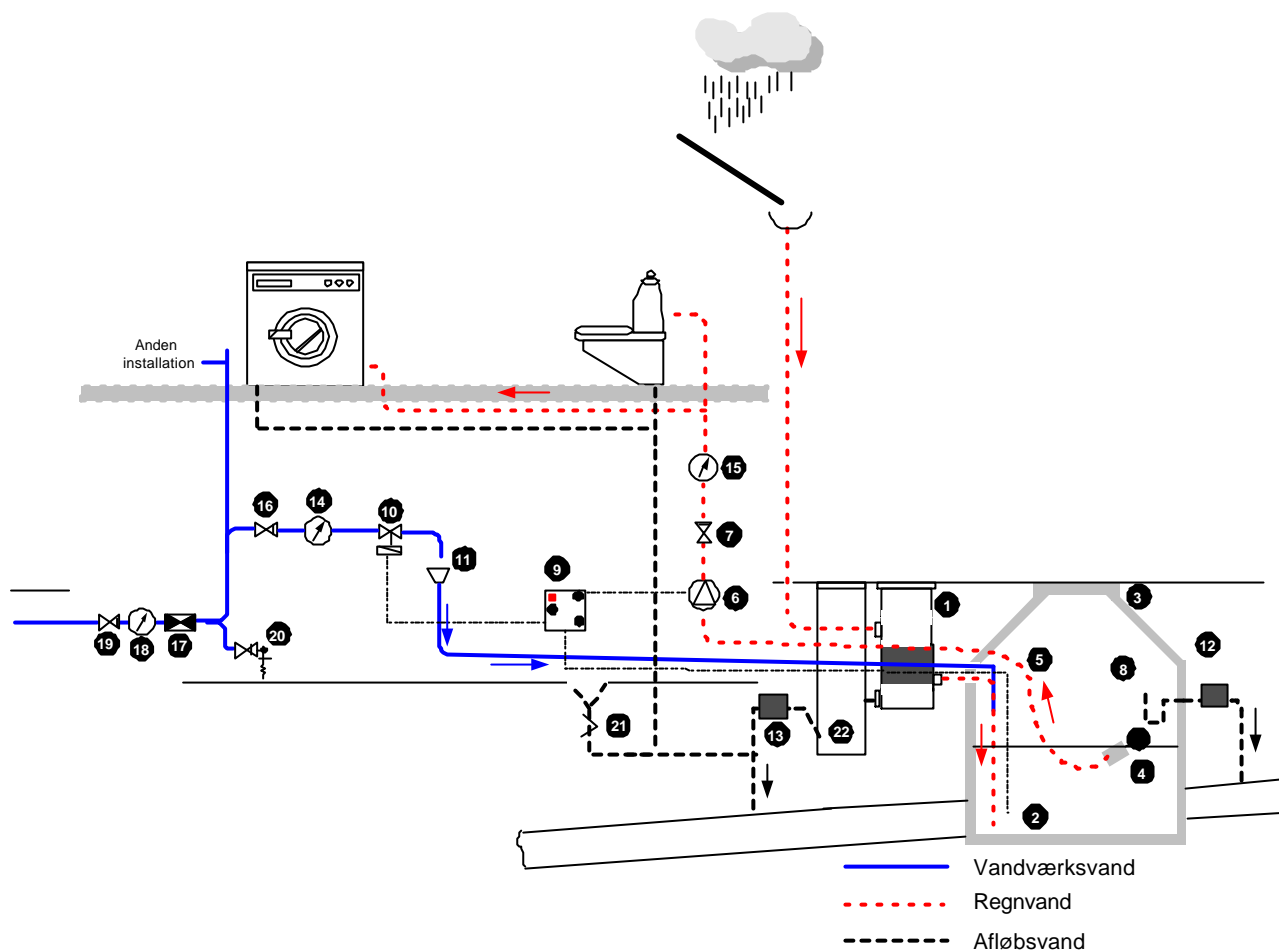
Tilbagestrømningssikring

Som noget ganske nyt er det blevet et krav, at der i forbindelse med installation af et regnvandsanlæg også placeres en tilbagestrømningssikring (rørafbryder) (17) på stikledningen, dette øger betydeligt sikkerheden mod forurening af vandværksvandet.

Overløb fra anlæg

Overløbet fra regnvandstanken (8) skal sikres mod tilbagestuvning fra enten kloakken eller fra det lokale nedsivningsanlæg. Typen af sikring (12) kan variere, og vil blive omtalt senere i dette kapitel. Vigtigheden af sikringen afhænger af, hvor regnvandet ledes hen – er det til et fælleskloakeret system, til et separat regnvandssystem eller til lokal nedsivning. Koncentrationen af bakterierne ved tilbagestuvning er meget forskellig for de tre situationer. Der

er desuden placeret et overløb i forbindelse med filteret (1), som ledes via en nedløbsbrønd (22) ud til kloakken eller til lokal nedsivning. Efter nedløbsbrønden er der atter en sikring (13) mod tilbagestuvning fra kloakken ind i regnvandsanlægget.



1. Filter på tilløbsledning
2. Indløb til regnvandstank
3. Regnvandstank
4. Dykket indsugning med filter til pumpen
5. Sugeledning
6. Selvansugende pumpe
7. Kontraventil
8. Vandlås på overløb fra tank
9. Automatisk styreenhed
10. Magnetventil på vandforsyningsledning
11. Drikkevandsefterfyldning til regnvandstank via luftgab
12. Sikring mod tilbagestuvning fra overløb fra tank
13. Sikring mod tilbagestuvning fra overløb fra filter
14. Vandmåler på vandforsyningsledning
15. Vandmåler på lokalt trykssystem (regnvandsledning)
16. Kontraventil
17. Tilbagestrømningssikring (Rørafbryder)
18. Vandmåler på den enkelte bolig
19. Kontraventil i forbindelse med vandmåler(18)
20. Aftapningsventil
21. Vandlås på gulv afløb
22. Nedløbsbrønd

Figur 3.1

Skitse af anlæg til brug af regnvand til tøjvask og wc-skyl. Tanken er på denne tegning placeret i jorden og ikke i kælderen. Detaljerne omkring sikring mod tilbagestuvning via overløb (12 & 13) er ikke vist.

<i>Placering af tank</i>	Tanken (3) skal stå et frostfrit sted som f.eks. kælder eller opvarmet garage. Hvis dette ikke kan lade sig gøre, kan tanken graves ned. I så fald skal den være forsynet med en velisoleret kappe.
<i>Tilledning til tank</i>	I lagertanken opbevares regnvandet i længere eller kortere tid afhængig af dels nedbøren i området og dels forbruget i husstanden. I tanken sker der hurtigt en udskilning i et flydelag øverst og et bundlag nederst. Fedtstof og lettere partikler ligger typisk i flydelaget, mens de tungere partikler sedimenterer. Tanken skal dimensioneres, således at flydelaget nogle gange om året ledes bort via overløbet fra regnvandstanken. Tilledningen af regnvand til tanken sker via et dykket udløb (2), således at der ikke forekommer turbulens i de øverste vandlag.
<i>Fra tank til forbrugssted</i>	Fra regnvandstanken pumpes (6) regnvandet via et dykket sugefilter (4) ud til forbrugsstederne i boligen via et separat fordelingsnet (5), som skal være sikret mod forveksling med drikkevandsledninger. I det lokale trykssystem skal der være placeret en kontraventil (7), således at tilbageløb fra toilet og vaskemaskine kan undgås. Desuden skal der placeres en vandmåler, således at det samlede brug af regnvand og vandværksvand kan bestemmes.

3.1.1 Sikring mod tilbagestuvning

Vigtigt emne: sikring mod tilbagestuvning Sikring mod tilbagestuvning fra diverse overløb er beskrevet for sig selv i dette underafsnit, da det er et meget vigtigt emne ved bygning af regnvandsanlæg.

Farligste konsekvens: Spildevand i offentligt net Den farligste konsekvens i forbindelse med et regnvandsanlæg er, hvis der på en eller anden måde kan trænge spildevand ud i det offentlige vandforsyningsnet. For at dette kan ske, er det en forudsætning, at kloaksystemet i det lokale område er fælleskloakeret, hvilket er ensbetydende med, at både spildevand og regnvand bliver transporteret i samme ledningssystem til rensningsanlægget, og at der skabes en forbindelse mellem det offentlige vandforsyningsnet og det alternative decentrale forsyningsnet som eksisterer i et regnvandsanlæg.

Separatkloakeret system Hvis kloaksystemet er separatkloakeret vil det være naturligt at koble overløbene på regnvandsledningen af kloaksystemet, og dermed er risikomomentet væk, hvad angår spildevand i det offentlige vandforsyningsnet, og reduceret væsentligt pga. separat regnvands lavere forureningsgrad.

Spildevand i regnvandstank En forudsætning for, at spildevand kan trænge ud i det offentlige vandforsyningsnet, er, at der er trængt spildevand ind i regnvandstanken. Dette kan ske enten via tilløbet fra filteret eller via overløbet fra tanken. Hvis det var muligt at sikre disse to veje, således at indtrængning af spildevand i tanken helt kunne udelukkes, ville de væsentligste risikomomenter ved regnvandsanlæg være ikke eksisterende.

Retningslinier fra Teknologisk Institut For at sikre mod tilbagestuvning fra kloakken er der i Teknologisk Institut's anvisning /1/ angivet visse retningslinier for etablering af overløb. Følgende gælder:

1. På ledningen, der fører "ikke filtreret regnvand" fra filterenheden, skal der være indbygget en nedløbsbrønd. Ved "ikke filtreret regnvand" forstås regnvand, der ikke passerer filteret i filterenheden. Vandet kan føres til hovedkloak, eller vandet kan nedsives.

2. Såfremt afløbsledningen med "ikke filtreret regnvand" fra filterenheden eller overløbsledningen fra tanken tilsluttes en kloakledning, skal der sikres mod lugt, opstemning og rotter. I forbindelse med sikring mod opstemning må dette ikke ske ved at anbringe et højvandsslukke. Såfremt det ikke er muligt at tilslutte afløbet fra overløbet over højeste opstemningskote, skal der etableres en pumpebrønd.
3. Hvis overløbet fra tanken ledes til et nedsivningsanlæg, skal nedsivningsanlægget udføres i overensstemmelse med DS 440 "Norm for mindre afløbsanlæg med nedsivning".

Ud fra ovenstående fremgår det, at et vigtigt punkt til sikring mod tilbagestuvning er den højeste opstuvningskote. Det er vigtigt, at alle anlægsdele anbringes over den højeste opstuvningskote. Hvis dette ikke kan lade sig gøre, er det nødvendigt at sikre mod tilbagestuvning. Dette kan selvfølgelig gøres på forskellige måder.

Højeste opstuvningskote Hele problematikken omkring den højeste opstuvningskote er forbundet med placeringen af anlægsdelene. Hvis regnvandstanken f.eks. er placeret på loftet, er der sandsynligvis ikke store muligheder for tilbagestuvning til tanken. Hvis tanken placeres i kælderen eller i jorden, øges mulighederne kraftigt. Derfor er det en kompleks sag at beslutte, hvilken type sikring mod tilbagestuvning, der skal vælges i den enkelte situation, og det kan ikke udelukkes, at retningslinierne fra Teknologisk Institut ikke altid vil blive overholdt. Der vil ofte indgå skøn og vurderinger fra den autoriserede mester, som skal installere regnvandsanlægget i den enkelte bolig. Selv ved valg af den sikreste sikring – en pumpebrønd – kan dette i ekstreme tilfælde medføre tilbagestuvning. Sandsynligheden er ikke stor, men den eksisterer. Desuden vil økonomien spille ind for den enkelte borger, når et regnvandsanlæg skal installeres. En pumpebrønd er en af de dyreste former for sikring mod tilbagestuvning.

Spildevand i tank medtages som en almindelig fejl Ud fra ovenstående er det valgt at betragte spildevand i regnvandstanken som en risiko, der skal behandles under de almindelige fejl og ikke under projekteringsfejl, da hele problematikken er meget kompleks og fastsættelsen af den højeste opstuvningskote noget usikker.

Erfaringer fra Tyskland Fra en konference i Tyskland "Hygienische Aspekte der Regenwassernutzung – dokumentation des fbr-Fachsymposiums in Fulda (fbr = Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung)", 1998 refereres der til en undersøgelse, hvor det viste sig, at over 50 % af anlæggene havde et luftgab under højeste opstuvningskote. Der angives ikke, hvor mange anlæg, der indgik i undersøgelsen, men under alle omstændigheder vil og kan der opstå problemer i fastsættelsen af den højeste opstuvningskote.

Generalisering af sikring I resten af rapporten, er det valgt at kalde sikringen mod tilbagestuvning for "sikring" og ikke specificere denne yderligere. Var denne sikring en pumpebrønd ville fejltræet blive udvidet, da der i forbindelse med en pumpebrønd selvfølgelig er en pumpe, men også en kontraventil eller en sløjfe over terræn. I dette tilfælde skulle begge dele fejle for, at spildevandet kunne trænge ind i tanken. Hvis der til gengæld kun er tale om en nedløbsbrønd, skal stuvningskoten blot blive høj nok før tilbagestuvning er en realitet.

3.2 Uønskede hændelser

Identificerede uønskede hændelser

I rapporten omhandlende den kvalitative risikoanalyse på et regnvandsanlæg /PH-Consult, 1999/ blev følgende uønskede hændelser indenfor projektets rammer lokaliseret:

- Spildevand i det lokale net
- Regnvand i det offentlige vandforsyningsnet
- Spildevand i det offentlige vandforsyningsnet

Fokuseres kun på mulig forurening af den offentlige vandforsyning

Det er besluttet, at der i den kvantitative risikoanalyse primært fokuseres på risikoen for forurening af den offentlige vandforsyning, derfor forfølges den uønskede konsekvens "Spildevand i det lokale net" ikke yderligere. Begrundelsen for denne overvejelse er, at hvis der sker forurening af den lokale vandforsyning, er det et begrænset antal personer, der eksponeres for forureningen. Hvis der til gengæld sker forurening af den offentlige vandforsyning, vil eksponeringsfladen være meget større afhængig af de aktuelle forhold i forureningssituationen.

De uønskede hændelser: Regnvand eller spildevand i det offentlige vandforsyningsnet beskrives i detaljer senere i rapporten. Det skal bemærkes, at der ikke i denne rapport tages højde for forureningsgraden af vandværksvandet – regnvand og spildevand anses begge for at være forurenede vand, og der skelnes ikke mellem forureningsgraden.

3.2.1 Forudsætninger for de opstillede fejltræer for de uønskede hændelser

Der skal bemærkes, at principskitsen af regnvandsanlægget er tegnet med tanken placeret i jorden og ikke i kælderen. Der kan være stor forskel på, om regnvandstanken er placeret i kælderen eller i jorden. Først og fremmest bliver den kritiske stuvningskote forskellig og er mest kritisk for tanken placeret i jorden, da de fleste anlægsdele er placeret lavere end i det tilfælde, hvor tanken er placeret i kælderen.

Desuden er fejl i forbindelse med utilsigtet adgang til og forurening af tanken ikke medtaget.

Den sidste forudsætning, der skal bemærkes, er, at det er antaget, at kloakken er fælleskloakeret og ikke separat, samt at der ikke foregår lokal nedsivning af regnvandet.

3.3 Kritiske fejlforbindelser

Etablering af fejlforbindelser er en kendsgerning

Der er forskellige måder, hvorpå der kan etableres fejlforbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. Det er en kendsgerning, at forbindelserne bliver etableret i praksis jævnfør erfaringerne beskrevet i kapitel 5; det sker især for at sikre driftssikkerhed. Hvis en pumpe, styreenhed, sugefilteret i regnvandstanken er ude af funktion, er det i mange tilfælde nødvendigt at få vand på anden vis til toiletter og vaskemaskiner, og derfor etableres forbindelsen. I følge erfaringerne fra telefonrundspørge ses sådanne fejlforbindelser ofte etableret i etageejendomme, hvor mange vil blive berørt, hvis anlægget ikke fungerer. Af den grund har enkelte kommuner også givet tilladelse til at lave en forbindelse - ofte er det dog krævet, at der fysisk skal flyttes et stykke rør fra regnvandssystemet til drikkevandssystemet, således at det er nødvendigt at koble regnvandssystemet fra, hvis der skal bruges

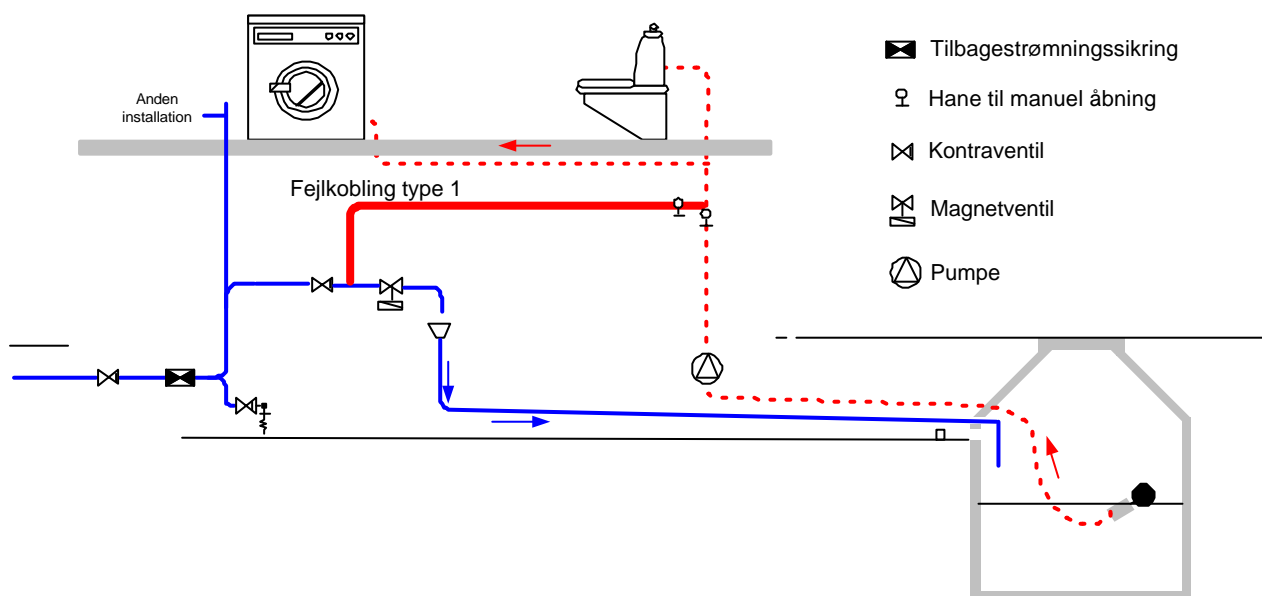
vandværksvand. Det skal bemærkes, at disse anlæg er bygget før anvisningen fra Teknologisk Institut er udarbejdet.

Regnvandspumpen leverer et større tryk end det eksisterende i vandforsyningen

Den type fejlforbindelse, som er placeret opstrøms pumpen, kan forårsage forurening af vandforsyningsnettet, hvis komponenterne (for eksempel kontraventil, tilbagestrømningssikring) fejler, idet regnvandspumpen ofte leverer et tryk, der er højere end vandforsyningsnettet (forklares i kapitel 6). Der etableres en anden type fejlforbindelse, hvis der laves en forbindelse mellem vandforsyningen og regnvandstanken uden om luftgabet. Det kan for eksempel ske, hvis det automatiske system ikke fungerer, og brugeren derfor selv vil fylde vand i regnvandstanken. I det følgende vil udvalgte fejlforbindelser blive beskrevet i detaljer.

3.3.1 Fejlkobling, type 1

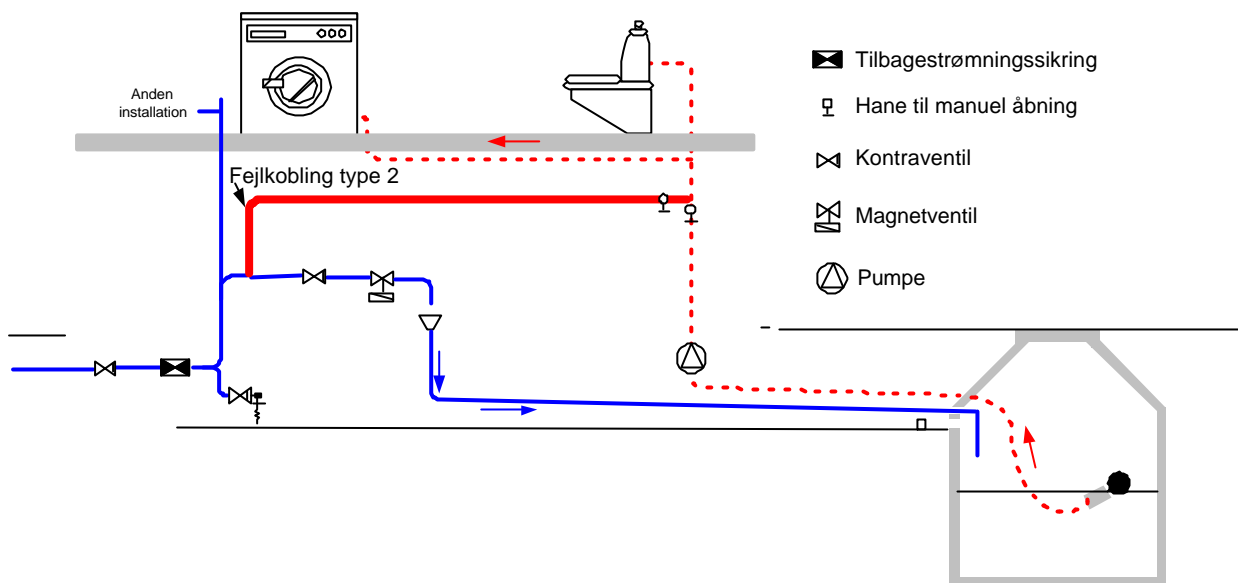
På figur 3.2 ses en fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. Fejlforbindelsen er placeret nedstrøms tilbagestrømningssikringen og de 2 kontraventiler lige før magnetventilen. Denne fejlforbindelse er knap så kritisk, da 2 kontraventiler og 1 tilbagestrømningssikring skal fejle, før en forurening af den offentlige vandforsyning er mulig. Desuden skal der åbnes for hanen, som forbinder drikkevandsinstallationen med regnvandssystemet.



Figur 3.2 Skitse af anlæg, hvor en fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er vist - Fejlforbindelsen kaldes fejlforbindelse, type 1.

3.3.2 Fejlkobling, type 2

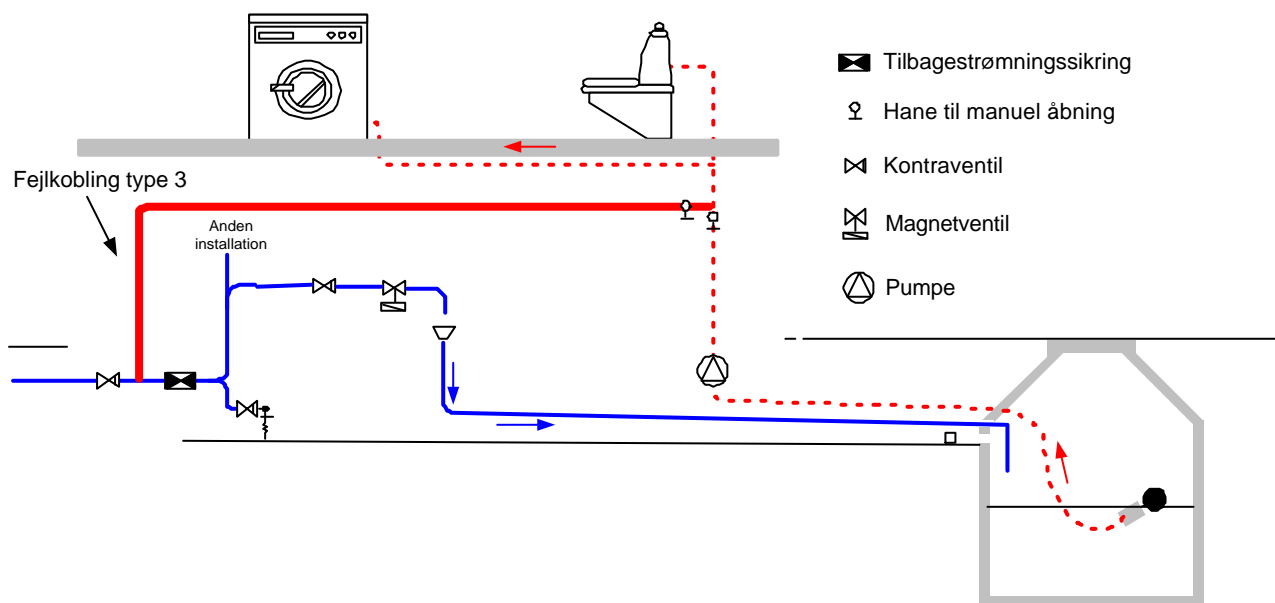
Hvis fejlforbindelsen sker opstrøms vandmåleren, der måler spædevandstiltførelsen til regnvandstanken, dvs. før den sidste kontraventil, er der en kontraventil og tilbagestrømningssikring, som skal fejle, før en forurening af den offentlige vandforsyning er mulig. Til gengæld er der direkte forbindelse til den lokale vandforsyning i den enkelte husstand. Fejlforbindelsen er vist på figur 3.3.



Figur 3.3 Skitse af anlæg, hvor en fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er vist - Fejlforbindelsen kaldes fejl kobling, type 2.

3.3.3 Fejlkobling, type 3

Ved fejlkobling 3 forstås den fejlforbindelse, hvor forbindelsen etableres opstrøms tilbagestrømningssikringen. Denne fejlforbindelse er forholdsvis alvorlig, da det kun er en kontraventil, der skal fejle, før regnvandet kan pumpes ud i den offentlige vandforsyning. På figur 3.4 er fejlforbindelsen vist.



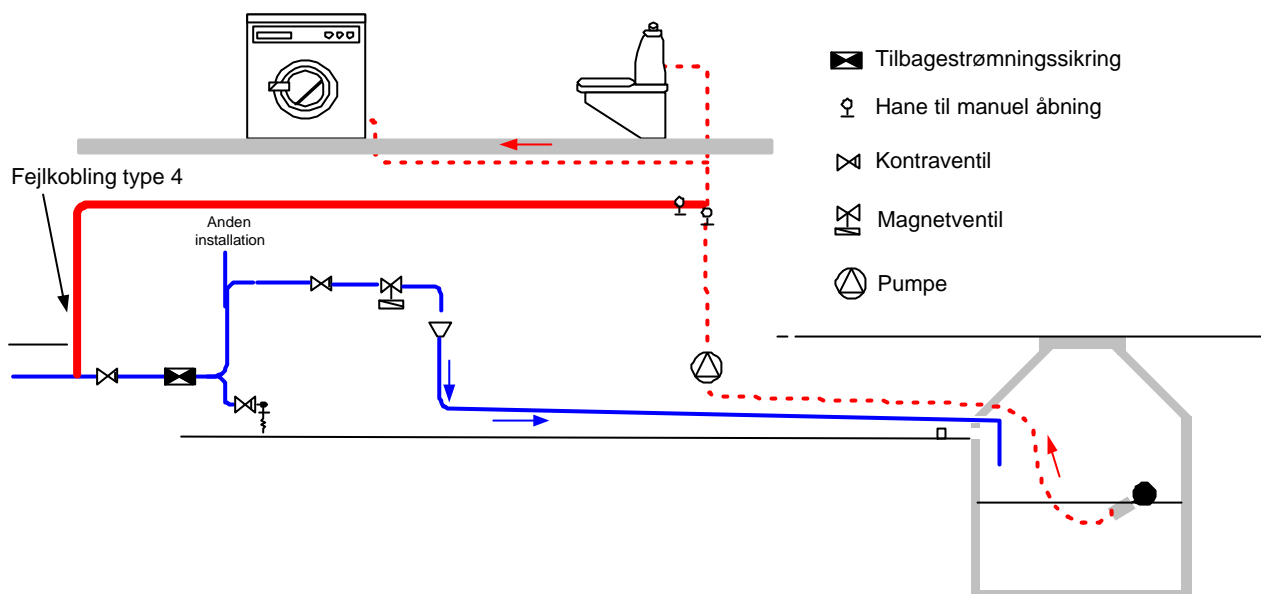
Figur 3.4 Skitse af anlæg, hvor en fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er vist - Fejlforbindelsen kaldes fejl kobling, type 3.

3.3.4 Fejlkobling, type 4

Den klart alvorligste fejlforbindelse er den, der er etableret opstrøms den kontraventil, der er placeret på stikledningen til den enkelte husstand til opstrøms regnvandspumpen. Ved denne fejlforbindelse betales der ikke for

den drikkevandstilførsel, der finder sted i de tilfælde, hvor regnvandssystemet ikke fungerer, og der åbnes for hanen ved omkoblingen.

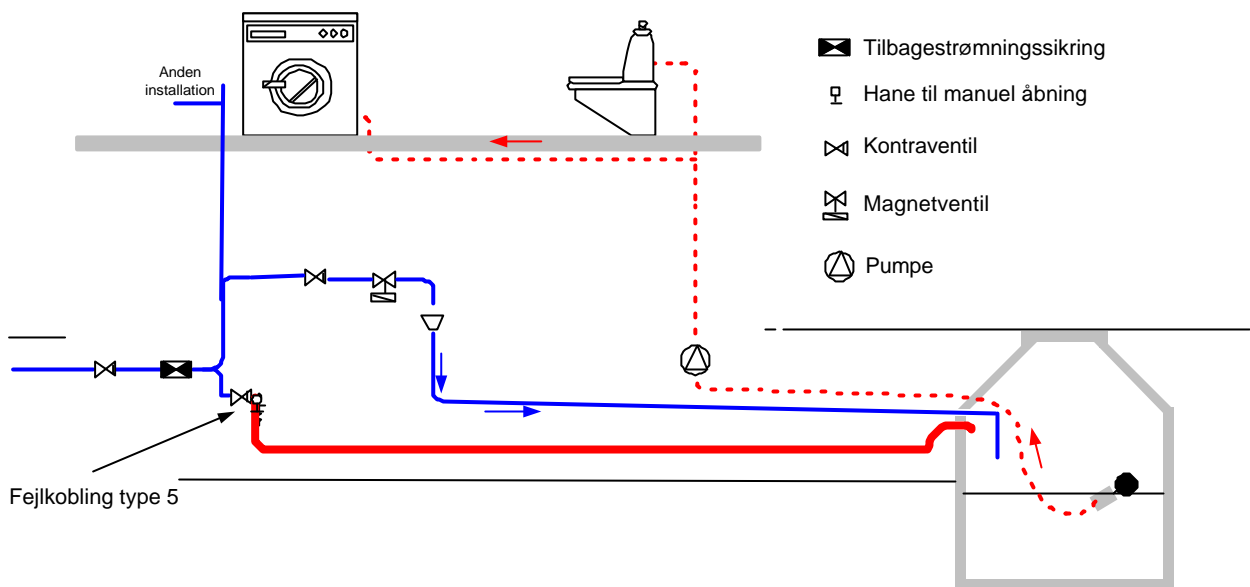
Når hanen åbnes er der en direkte forbindelse mellem regnvandssystemet og den offentlige vandforsyning. Forbindelsen er skitseret på figur 3.5.



Figur 3.5 Skitse af anlæg, hvor en fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er vist - Fejlforbindelsen kaldes fejlkobling, type 4.

3.3.5 Fejlkobling, type 5

Den sidste fejlkobling, der skal nævnes, er den, der etableres mellem taphanen nedstrøms tilbagestrømningssikringen og regnvandstanken. For at forurening af den offentlige vandforsyning er en mulighed, skal der være fejl på 2 kontraventiler og en tilbagestrømningssikring og samtidig skal trykket gå af nettet. I modsætning til de andre fire fejlforbindelser, skal trykket altså gå af nettet ved denne fejlforbindelse. På figur 3.6 er fejlforbindelsen vist.



Figur 3.6 Skitse af anlæg, hvor en fejl forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er vist - Fejl forbindelsen kaldes fejlkobling, type 5.

Det skal bemærkes, at der er lige så mange fejlforbindelsesmuligheder for den situation, hvor trykket går af vandforsyningen, som for den situation, hvor trykket i det lokale genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning. Disse behandles ikke her, da det senere i rapporten vil fremgå, at fejlhyppigheden for at få forurening i disse situationer er meget mindre end for de ovennævnte.

4 Gældende regler for regnvandsanlæg

Reference fra en artikel i Vandteknik omhandlende regler vedrørende regnvandsanlæg

I det følgende gennemgås de regler, der er indført i forbindelse med ændringen af Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 515. Den følgende beskrivelse er gengivet fra en artikel af Viggo Nielsen, Teknologisk Institut, Rørcentret publiceret i Vandteknik, nr. 9, november 2000.

Den overordnede regulering findes i Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 515 af 29. august 1988 med senere ændringer i bekendtgørelse nr. 694 af 7. juli 2000. I den sidstnævnte bekendtgørelse anføres blandt andet, at der i bekendtgørelse nr. 515 § 4 skal indsættes:

Stk.2. Bestemmelserne i stk. 1 finder ikke anvendelse på regnvand opsamlet fra tage til brug for wc-skyl og tøjvask i maskine.

Stk.3. Anlæg til opsamling af regnvand fra tage til brug for wc-skyl og tøjvask i maskine skal være VA-godkendt, jf. bestemmelserne i byggelovgivningen, fastlagt af by- og boligministeren. VA-godkendelsen kan enten være for et samlet fabriksfremstillet system eller som godkendelser af de forskellige fabriksfremstillede dele, som anlægget opbygges af på stedet.

Stk.4. Bestemmelserne i stk. 2 og 3 finder ikke anvendelse for institutioner med særlig udsatte personer som f.eks. skoler, daginstitutioner (herunder f.eks. vuggestuer, børnehaver, skolefritidsordninger og fritidshjem) og døgninstitutioner (herunder f.eks. plejehjem og hospitaler) samt hoteller og bygninger med offentlig adgang.

Stk.2 meddeler, at ikke alt vand i bygninger skal have drikkevandskvalitet, idet man nu må bruge regnvand fra taget til wc-skyl og tøjvask i maskine. Det forudsættes, at det i stk. 3 og 4 anførte respekteres.

Foruden det anførte om byggelovgivningen og VA-godkendelse skal byggelovgivningen og miljølovgivningen i øvrigt overholdes. Dette betyder, at Bygningsreglement BR 95 og Småhusreglement BR-S 98 skal følges. Begge reglementer henviser til, DS 432, Norm for afløbsinstallationer og DS 439, Norm for vandinstallationer som skal følges, og at arbejder med vand- og afløbsinstallationer samt kloak skal udføres af autoriserede mestre. DS 432 og DS 439 er begge netop revideret og foreligger som 3. udgaver, der er trådt i kraft pr. 31. juli 2000. I begge normer anføres, at regnvandsanlæg skal udføres i overensstemmelse med Teknologisk Instituts Rørcenter-anvisning 003, Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger.

Konklusionen på ovenstående fremlægges i de følgende tre afsnit.

4.1 Eksisterende enfamiliehuse omfattet af BR-S 98

Gældende regler for eksisterende enfamiliehuse omfattet af BR-S 98

Regnvandsanlæg kan udføres uden særlig tilladelse fra bygningsmyndigheden:

Vandinstallationer samt afløbsinstallationer inde i bygningen skal udføres af en autoriseret VVS-installatør. Afløbsinstallationer i jord og under bygning skal udføres af en kloakmester. DS 432, 3.udgave 2000 og DS 439, 3.udgave 2000 skal følges. Rørcenter-anvisning 003 skal følges. VA-godkendte anlæg eller til formålet VA-godkendte dele skal anvendes.

4.2 Nye enfamiliehuse omfattet af BR-S 98

Gældende regler for nye enfamiliehuse omfattet af BR-S 98

Regnvandsanlæg kræver tilladelse fra bygningsmyndigheden i forbindelse med ansøgning om byggetilladelse:

Tilladelse kan gives med de betingelser, der er anført ovenfor.

4.3 Andre bygninger

Gældende regler for andre bygninger

Regnvandsanlæg kræver tilladelse fra bygningsmyndigheden i alle tilfælde:

For bygninger omfattet af Bygningsreglementet BR 95 (såvel eksisterende som nye bygninger) skal der altid søges om tilladelse hos bygningsmyndigheden til installation af regnvandsanlæg. For bygninger med boliger eller boliglignende anvendelse f.eks. kontorer og andre virksomheder, hvor bruger kredsen er fast, vil tilladelsen normalt kunne gives, når betingelserne anført under enfamiliehuse er opfyldt.

For bygninger med anden anvendelse kan der søges om tilladelse, men da der ikke kan gives dispensation fra ovennævnte bekendtgørelser fra Miljø- og Energiministeriet, vil tilladelse kun kunne opnås som tilladelse til forsøgsbyggeri. Betingelserne for eventuel udførelse vil formentlig være som beskrevet under enfamiliehuse i den udstrækning, de kan anvendes.

4.4 Ansvar for installationen

Tilbagestrømningsventilen er vvs-mesterens og rådgiverens ansvar

Det er ikke leverandørens eller komponentproducentens ansvar, at forholdene på vandforsynings siden er i orden, og derfor har de f.eks. ikke ansvar for, at de etablerede anlæg er udstyret med en tilbagestrømningssikring (rørafbryder). Dette er formodentlig rådgiverens og den autoriserede vvs-mesters ansvar. Derfor er det vigtigt, at de autoriserede håndværkere, der skal installere disse anlæg er bekendt med Rørcenter-anvisning 003, og dermed med de gældende regler om installation og valg af komponenter.

4.5 Fortolkning af Rørcenter-anvisningen 003

Fortolkning af Rørcenteranvisning 003

Rørcenter-anvisningen 003 er forholdsvis klar, hvad angår de komponenter, der skal indgå i et regnvandsanlæg – der er krav til bl.a. brug af VA-godkendte komponenter. Men når det drejer sig om muligheden for at koble regnvandsanlægget fra og kun benytte vandværksvand, er der mulighed for fortolkning af anvisningen, da dette ikke er behandlet i anvisningen. Det kan derfor tolkes som om, at det er tilladt at koble anlægget helt fra, således at anlægget ingen forbindelse har til resten af husets vandinstallation. Denne

omkobling fra regnvandsbrug til vandværksbrug kan f.eks. ske ved at afmontere et rørstykke fra regnvandsledningen og anbringe det samme rørstykke i vandforsyningsledningen. Det svarer til, at anlægget nedlægges og den oprindelige vandinstallation genoprettes. At informere om denne mulighed, kan måske også være med til at nedbringe antallet af registrerede fejlforbindelser. Dette er en mulig omkobling, der er benyttet ved mange eksisterende anlæg i dag jævnfør kapitel 5 – erfaringer fra eksisterende regnvandsanlæg. For at reducere antallet af fejlforbindelser er det nødvendigt at nedsætte incitamentet til at foretage disse fejlforbindelser, denne omkoblingsmulighed kunne medvirke til dette.

5 Erfaringer fra eksisterende anlæg

I dette kapitel beskrives de erfaringer, der haves fra eksisterende anlæg i Danmark, Tyskland og England.

5.1 Erfaringer fra Danmark

Skønnet antal regnvandsanlæg i Danmark

I Danmark er der skønsmæssigt 300-400 regnvandsanlæg, der er registreret enten via byøkologisk centers hjemmeside (lokal agenda 21), ved de enkelte producenter eller i de enkelte kommuner. Derudover er der et utal af uautoriserede anlæg, altså anlæg der benytter regnvand til f.eks. havevanding eller bilvask m.v., som ikke er registreret.

Erfaringer indhentet fra Odense, Århus og København

Det har ikke været muligt at indsamle oplysninger fra alle anlæg, da det er problematisk at lokalisere alle anlæg. Der er derfor valgt et repræsentativt udvalg, som skal give et overblik i hele landet. Som udgangspunkt er erfaringer fra Odense, Århus og København indhentet, da dette er tre store byer på henholdsvis Fyn, Jylland og Sjælland. Desuden er der foretaget en forespørgsel på en del regnvandsanlæg angivet på Byøkologisk centers hjemmeside for at indsamle så mange brugererfaringer som muligt.

5.1.1 Erfaringer fra Odense

Fem registrerede regnvandsanlæg i Odense

I Odense er der fem registrerede forsøgsanlæg/regnvandsanlæg:

- Blangstedgaard (forsøgsanlæg etableret i 1993)
- Godthåbsgade 61 (etableret i 1993)
- Stadionvej 77-79 (etableret i 1994)
- Valdhalsvej 12
- Holluf Pile Skole (etableret i 1995)

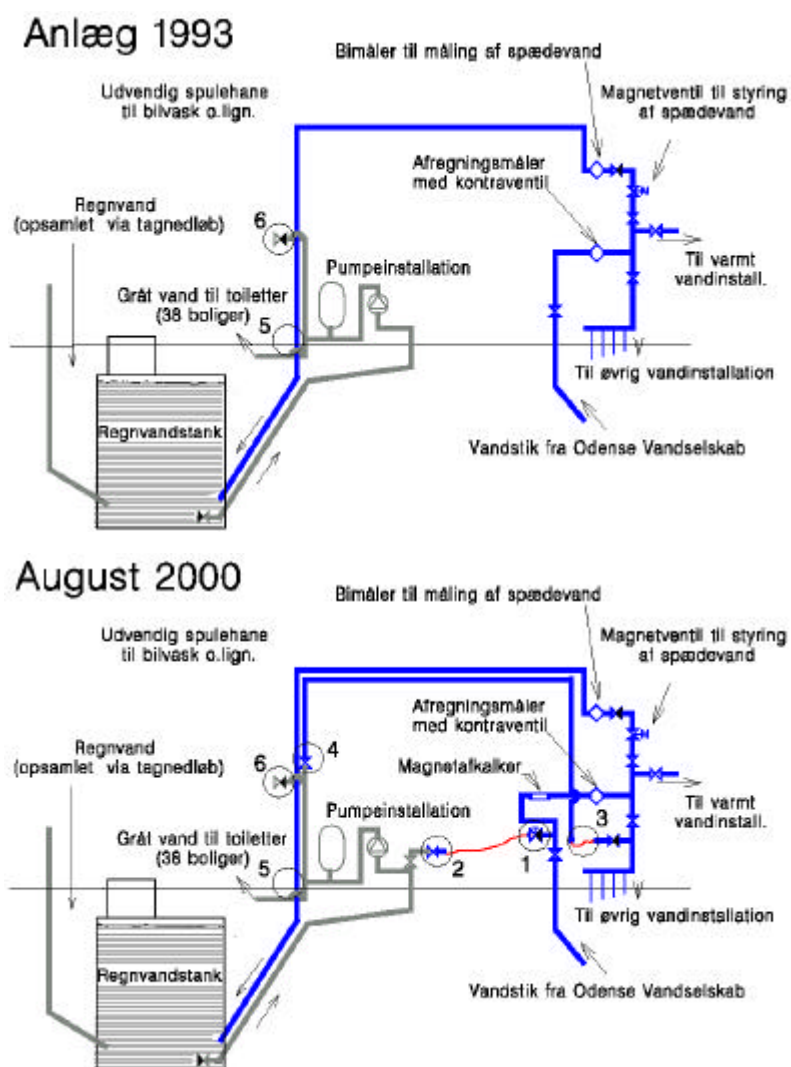
Observerede mangler og fejl ved anlæggene

Dette er regnvandsanlæg, der alle er blevet godkendt før etableringen. Det er dog anlæg, der er godkendt før udarbejdelsen af Rørcentrets anvisning 003. Da der i år (2000) blev foretaget en kontrol af disse fem anlæg blev følgende fejl bemærket:

- Et anlæg var anmærkningsfrit (anlægget på Holluf Pile Skolen).
- Et anlæg var under total ombygning, da indehaveren var en aktiv selvbygger (anlægget på Valdhalsvej 12).
- Et anlæg var behæftet med en enkelt fejl, nemlig manglende luftgab ved spædevandspåfyldningen.
- Et anlæg var behæftet med fire fejl og mangler:
 - Manglende luftgab ved spædevandspåfyldning.
 - Manglende luftgab ved overløb fra forrådstank (overløbet ført neddykket i kælders gulvafløb).
 - Kuglekontraventil fejlmonteret.
 - Direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallation ved plastslange mellem to kuglehaner (ingen kontraventil).
- Et anlæg var behæftet med seks fejl og mangler:

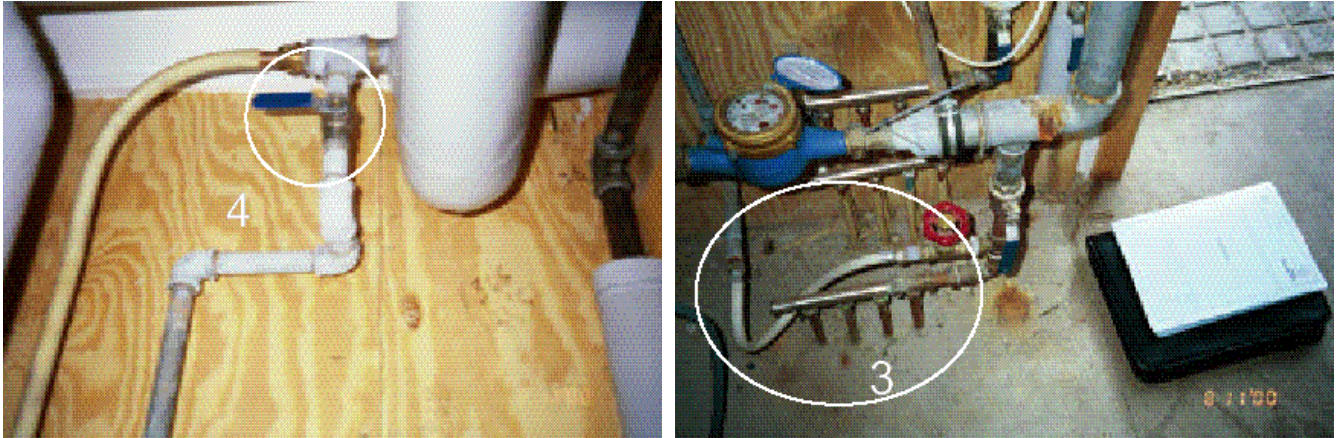
- Spulehane med slangeforskruning direkte forbundet med regnvandspumpens sugeledning. Spulehane monteret før afregningsmåler (cirkel 1 angivet på figur 5.1).
- Slangetilslutning på regnvandspumpens sugeledning til spædning af pumpen (cirkel 2 angivet på figur 5.1).
- Direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen til reserveforsyning i tilfælde af pumpesvigt (cirkel 3 angivet på figur 5.1).
- Direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallation til reserveforsyning i tilfælde af pumpesvigt (cirkel 4 angivet på figur 5.1).
- Ingen luftgab ved spædevandspåfyldning (cirkel 5 på figur 5.1).
- Taphane på regnvandsanlægget (cirkel 6 på figur 5.1).

Det sidste anlæg, hvor der blev bemærket seks fejl er vist på figur 5.1. Øverst ses en principskitse af anlægget, sådan som det så ud, da det blev godkendt i 1993. Nederst ses principskitser af anlægget ved tilsyn i år 2000.



Figur 5.1: Øverst ses anlægstegning godkendt i 1993. Nederst ses anlægget i 2000. Der er etableret to kortslutninger mellem det lokale trykssystem og det offentlige vandforsyningsnet i form af en permanent slange- og rørforbindelse. /Original billede fra Odense Vandselskab as/.

Ved dette anlæg skal det bemærkes, at vandselskabets tilsynsførende foranledigede, at den direkte forbindelse før afregningsmåleren blev fjernet (forbindelse på figur 5.1 fra "1" til "2"), men tre dage senere, da der skulle tages supplerende fotos, var denne forbindelse atter genoprettet. På figur 5.2 ses to billeder, der viser fejlene angivet på figur 5.1 ved "3" og "4". de to direkte forbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen.



Figur 5.2: Til venstre ses den direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen til reserveforsyning i tilfælde af pumpevigt. Til højre ses den direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen til reserveforsyning i tilfælde af pumpevigt.

På figur 5.3 ses to billeder, der viser fejlene angivet på figur 5.1 ved henholdsvis "1" og "2".



Figur 5.3: Til venstre ses en spulehane med slangeforskrunding direkte forbundet med regnvandspumpens sugledning, Spulehanen monteret før afregningsmåleren. Til højre ses en slangetilslutning på regnvandspumpens sugledning til spædning af pumpen.

Fejlforbindelse opstrøms afregningsmåleren

Billederne på figur 5.3 viser den direkte fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen før afregningsmåleren. Det vil sige, at alt spædevandet, der ledes til regnvandstanken via denne fejlforbindelse betales der ikke for.

Ved et af de andre anlæg var der over regnvandsanlægget hængt et skilt med ordene: "STORM P. HAR IKKE LEVET FORGÆVES".

Opsummering af erfaringer fra Odense

For at opsummere erfaringerne fra Odense kan følgende vigtige fejl/mangler i forbindelse med mulig forurening af det offentlige vandforsyningsnet fremhæves:

- ❑ Tre ud af fem anlæg havde intet luftgab.
- ❑ To ud af fem anlæg havde en direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. På det ene anlæg var der etableret to forbindelser.

5.1.2 Erfaringer fra Århus

Ti registrerede regnvandsanlæg i Århus

I Århus er der ti registrerede forsøgsanlæg/regnvandsanlæg:

- ❑ Bredskiftevej 30 (regnvandsanlæg for lastvognsvask, etableret i 1999)
- ❑ Dannebrogsgade 8 A (regnvandsanlæg for toiletter, etableret i 1996)
- ❑ Ewaldsgade 15 (regnvandsanlæg for vaskemaskiner, etableret i 1991)
- ❑ Grønkærvej 12 (regnvandsanlæg for toilet og vaskemaskine, etableret i 1991)
- ❑ Hjortshøj Møllevvej 190 (regnvandsanlæg for vaskemaskiner, etableret i 1998)
- ❑ Hjulby Hegn 78-138 (regnvandsanlæg til blomstervanding, etableret i 1997)
- ❑ Klostergade 78 (regnvandsanlæg for toiletter, etableret i 1991)
- ❑ Skejbyparken 360-376 (regnvandsanlæg for vaskemaskiner, etableret i 1998)
- ❑ Studsgade 12-14 (regnvandsanlæg for vaskemaskiner, etableret i 1999)
- ❑ Studsgade 46 (regnvandsanlæg for toiletter, etableret i 1989)

Observerede fejl og mangler ved anlæggene

Dette er regnvandsanlæg, der alle (på nær et) er blevet godkendt af Århus Kommune Værker, Vandforsyningen før etableringen. Da der i år (2000) blev foretaget en kontrol af disse ti anlæg blev følgende fejl bemærket:

- ❑ Et anlæg var anmærkningsfri.
- ❑ Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Manglende vakuumventil på drikkevandsforsyningen.
 - Manglende kontraventil på drikkevandsforsyningen.
- ❑ Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Direkte rørforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen.
 - Manglende afspærringsventil ved vandmåler.
- ❑ Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Manglende vakuumventil ved drikkevandsforsyningen.
 - Manglende kontraventil ved drikkevandsforsyningen.
 - Udendørs spulehane.
 - Manglende mærkning ved udendørs spulehane.
 - Installationen mangler vandmåler på spædevandstilfyldningen.
- ❑ Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Direkte rørforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen.
 - Vakuumventil fejlplaceret.
 - Manglende mærkning af ledninger.
 - Afspærringsventil mangler ved vandmåler for regnvand.
- ❑ Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Udendørs spulehane.
 - Manglende mærkning ved udendørs spulehane.

- Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Direkte rørforbindelse mellem offentlig vandforsynings- og regnvandsinstallation.
 - Afspærringsventil mangler ved vandmåler for regnvand.
- Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Manglende vakuumventil ved drikkevandsforsyningen.
 - Afspærringsventil mangler ved vandmåler for regnvand.
- Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Manglende vakuumventil ved drikkevandsforsyningen.
- Et anlæg var behæftet med følgende fejl.
 - Manglende vakuumventil ved drikkevandsforsyningen.
 - Manglende kontraventil ved drikkevandsforsyningen.

På figur 5.4. ses nogle billeder fra regnvandsanlægget på Ewaldsgade. Regnvandsanlægget havde en direkte rørforbindelse mellem drikkevandsforsyningen og regnvandsinstallationen. På billedet er markeret med "1", hvor sammenkoblingen sker.



Figur 5.4: Regnvandsanlæg på Ewaldsgade i Århus. Til venstre ses 2 af de ialt 6 regnvandstanke. Til højre ses fejlforbindelsen hvor drikkevandsforsyningen er koblet på regnvandsanlægget. Der skulle have været et frit luftgab.

På figur 5.5 ses billeder fra et andet regnvandsanlæg. Også dette anlæg havde en direkte rørforbindelse mellem drikkevandsforsyningen og regnvandsanlægget - denne rørforbindelse er markeret med "2" på det ene billede.



Figur 5.5: Regnvandsanlæg på Klostergade i Århus. Til venstre ses 2 regnvandstanke, samt pumpe og rørforbindelser. Til højre er der zoomet ind på rørforbindelserne og her ses fejlforbindelsen, hvor drikkevandsforsyningen er koblet på regnvandsanlægget.

Opsummering af erfaringer fra Århus

For at opsummere erfaringerne fra ti anlæg i Århus kan følgende vigtige fejl/mangler fremhæves:

- ❑ Ved tre af anlæggene blev der observeret direkte forbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen.
- ❑ Ved tre af anlæggene var der manglende kontraventil.
- ❑ Ved fem af anlæggene var der manglende vakuumventil.
- ❑ Ved tre af anlæggene var der manglende luftgab.
- ❑ Ved fire af anlæggene var der manglende mærkning af ledninger.

Ændring af regnvand fra forureningsgrad 4 til forureningsgrad 3 jævnfør DS 439

Det skal bemærkes, at de tre anlæg, hvor der er observeret direkte forbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er de samme tre anlæg, hvor der er observeret manglende luftgab. To af anlæggene har fra etablering været udført med direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen og dermed ikke med luftgab. Dette skyldes, at regnvand tidligere har været placeret under forureningsgrad 4 og dermed kun krav om kontraventil og vakuumventil i forbindelse med drikkevandstilledning jævnfør Norm for vandinstallation, DS 439. Der er dog senere sket en revurdering af regnvandskvaliteten, hvilket har bevirket, at regnvand nu karakteriseres under forureningsgrad 3, og der er dermed krav om 20 mm luftgab og kontraventil. Århus Kommunale Værker, Vandforsyningen har ved denne ændring udsendt breve til indehaverne af de anlæg, hvor der ikke fra starten har været luftgab, vedrørende krav om luftgab. Disse krav er der så ikke reageret på, og derfor er disse fejl fortolket som værende fejl og mangler ved anlæggene.

Til sidst bemærkes det, at Århus Kommunale Værker, Vandforsyningen har udsendt breve til alle indehaverne af regnvandsanlæggene i Århus, hvor det forventes, at alle fejlene rettes hurtigst muligt.

5.1.3 Erfaringer fra telefonundersøgelse

Der er udført en mindre undersøgelse i form af telefoninterview med ejere/driftsfolk af forskellige regnvandsanlæg rundt omkring i landet. Anlæggene er fundet via Byøkologisk Centers hjemmeside (lokal agenda 21). Det drejer sig om følgende regnvandsanlæg:

- *Anlæg i København (regnvand til toiletter)*
 Der er 12 toiletter. Hvert år sparer anlægget 225.000 liter drikkevand. Har en tank på 4000 l. Der har ikke været problemer med anlægget - bortset fra lidt problemer med tilstopning af grovfilter ved indløbene. Grovfilteret er derefter udskiftet. Der kan godt benyttes almindelig vandværksvand i tilfælde af, at anlægget ikke fungerer. Det kræver dog, at der lukkes for nogle haner og sættes et nyt stykke rør i. Der er frit luftgab til regnvandstanken. Ellers har anlægget fungeret fuldt tilfredsstillende.
- *Anlæg i Esbjerg (oprindeligt gråt spildevand til toilet og vask, nu kun regnvand til toiletter, 1995)*
 En regnvandstank på 15000 l til 14 toiletter. Oprindeligt var det et gråvandsanlæg, hvor regnvand blev benyttet til vaskemaskiner og bruservand til wc-skyl. Beboerne mente dog ikke, at tøjet blev rent nok, så anlægget blev derfor nedlagt. Man stoppede også med at bruge bruservand til toiletterne pga. lugtgener. Er ikke bekendt med fejlkoblinger. Det nye anlæg har kun kørt godt et år. Påfyldning af vandværksvand foregår, når det er nødvendigt - det er nu sjældent. Der er ikke umiddelbart nogen mulighed for at koble regnvandsanlægget fra og bruge vandværksvand. Det vides ikke om der er frit luftgab til tanken.
- *Anlæg i Rødovre (regnvand til vaskeri, 1996)*
 Der har ikke været særlige problemer. Der er frit luftgab og regnvandsanlægget kan kun kobles fra ved hjælp af en særlig nøgle for at tilkoble drikkevand. Der udarbejdes en driftsrapport og en årlig rapport til kommunen, og der er løbende taget vandprøver.
- *Anlæg i Helsingør (privat, regnvand til toilet, 1980, 1999)*
 Ejeren har selv bygget anlægget. Oprindeligt var det kun til havevanding, men bliver nu også benyttet til wc-skyl. Bruger sin gamle olietank på 2500 l. Der er 2 toiletter i huset, dog er kun det ene koblet på regnvandsanlægget - af den grund er der ikke behov for spædevandstilførsel. Ejeren har kendskab til en del ikke-godkendte anlæg. Vandforbruget af vandværksvand er reduceret fra 175 m³ om året til under 50 m³ pga. anlægget og nye vandbesparende toiletter. Der er sket en vandbesparelse på ca. 10 m³ ved at bruge regnvand til toiletter.
- *Anlæg i København (regnvand til toilet, 1992)*
 Et anlæg fra 1992 til 10 lejligheder, regnvand benyttes kun til wc-skyl. Lagertankene er "åbne" tanke, der er opstillet i kælder. Drikkevandsspædningen sker åbent 100 mm over tankenes øverste kant. Der er ikke forberedt alternativ forsyning. En VVS- installatør vil dog inden for få timer kunne udskifte dele, så man kan lede vandværksvandet uden om regnvandsanlægget. Det er ikke bekendt, at brugerne har ændret tilslutninger. Der er ikke udført aftapninger, studse eller lignende, hvor der er mulighed for at tilslutte brugsgenstande. Anlægget er med dobbeltpumpning idet alt vandet løber til en almindelig pumpebrønd hvorfra vandet pumpes til lagertank. Når lageret er fuldt løber vandet i overløbsledning til den samme pumpebrønd. Når den er fuld har den overløb til kloaksystemet. Denne løsning har vist sig ikke at være god. Godt nok øges lagervolumenet med pumpebrøndens volumen, men pumpen

stopper ikke. Derfor bør overløb fra lagertank gå direkte til kloak. Ejendommen, som ved renoveringen ejedes af Byfornyelsesselskabet København, er i dag solgt til en privat ejer, og derfor vides ikke, hvordan anlægget har det i dag, og hvordan driften har været de seneste år.

- *Anlæg i Dalum (regnvand til toilet, 1995)*
En arkitekt har tegnet et hus (til ca. 3 personer) med regnvandsanlæg med 3 m³ regnvandstank i jorden. Regnvandet benyttes til 1 toilet og 1 vaskemaskine samt bilvask og havevanding. Tilledning af drikkevand sker ved, at man manuelt skal åbne 2 haner. Det har kun været nødvendigt 3-4 gange inden for en 5-årig periode. Slangen er fastkoblet på regnvandsanlægget og røret til spædevandstilførslen kan komme under vandstanden i regnvandstanken, men det anses af arkitekten som umuligt, at der vil ske noget, da der jo manuelt skal åbnes for hanerne. Der bruges 28 m³ om året af rent drikkevand. Overløbet fra tanken går til et guldfiskebassin.
- *Anlæg i Slagelse (regnvand til toilet, 1995)*
Der er 2 tanke á 2500 l gravet ned i jorden. Regnvandspumpen er placeret i krybekælderen. Der er et frit luftgab til regnvandstanken. Der opsamles regnvand fra en tagflade på 200 m². Regnvand benyttes til 7 toiletter. Regnvandet ledes gennem en bladfanger og bundfældningstank, inden det kommer til regnvandstankene. Der er et problem med at udnytte nok regnvand, idet der ikke er overløb på regnvandstanken, og derfor sker en fordeling af regnvandet, inden det når ned i tanken. Det har den effekt, at tanken aldrig bliver fyldt op. Der ønskes en ændring af anlægget, så overløbet er i tanken. De forventede at få dækket 70 % af deres vandforbrug med anlægget, men det er kun lykkedes at dække det halve af forbruget. Midt i november skete en fejl med anlægget, hvilket betød, at der blev ledt vandværksvand ud i kælderen. Det var et stort arbejde at få ryddet op efter skaden. De har ikke haft behov for at gøre tankene rene - det kan kun gøres ved at tømme tankene og spule dem. De har en taphane til vanding - der kræves en særlig nøgle til at åbne den - den bruges ikke meget. De har bevaret den oprindelige vandinstallation til toiletterne, som kan tilkobles ved at åbne 2 haner. Hermed kobles regnvandsystemet fra. Man skal kende systemet for at kunne finde de rigtige haner.
- *Anlæg i Silkeborg (regnvand til toilet og vask, 1995)*
Anlægget består af 10 regnvandstanke á 1000 l, som forsyner regnvand til toiletter i 14 lejligheder og til vaskeri. Den sidste skylning i vaskeriet er med vandværksvand.

Der er blandt beboerne ikke særlig stor tilfredshed med anlægget. Toiletvandet har ifølge dem en anden farve. Der er meget vedligeholdelse på grund af anlægget, især på toiletterne, hvor der er registreret belægninger i cisternen. Bortset fra det har der ikke været problemer ved anlægget. Der sker ikke en påfyldning af drikkevand i regnvandstankene. Hvis der ikke er regnvand sørger en mekanisme for, at vand fra vandværket ledes til toiletterne. Umiddelbart kunne det lyde som om, der ikke er frit luftgab.

- *Anlæg i Nykøbing Falster (regnvand til toilet, 1995)*
 Anlægget har en tank på 9000 l - der opsamles regnvand fra 450 m² tagflade og 150 m² gårdareal. Regnvandet benyttes til toiletter i 13 boliger. Der er et mindre problem med alger i tankene. En gang har de oplevet hærværk med methylenblåt i vandet, hvorved alle beboerne fik blåt vand i toilettet. Påfyldning af vandværksvand sker automatisk, når en flyder når under ca. 1000 l regnvand i tankene. Der menes at være et frit luftgab. Man kan ikke umiddelbart koble anlægget fra og kun benytte vandværksvand - til gengæld er der 2 hydroforpumper, således at hvis den ene ikke virker, så kan den anden træde til. Der skiftes drift mellem pumperne hver måned. De sidste 54 måneder er der benyttet 1300 m³ til toiletskyl - 1008 m³ kommer fra regnvand.
- *Anlæg i Kolding (regnvand til toilet, 1993)*
 Der er en tank på 20 m³ og en sø på yderligere 20-30 m³ som supplerende reservoir. Hvis tanken bliver fyldt går det videre til søen, og der ledes vand fra søen tilbage til tanken. Der er 130 lejligheder - vandet benyttes kun til toiletter og havevanding. Anlægget har kørt fint uden de store problemer. Der er ikke foretaget ændringer på anlægget, siden driften er startet. Der sker en påfyldning af vandværksvand, og der er et frit luftgab. Der er en "uofficiel slangeløsning", hvis anlægget ikke fungerer, så man kan lede vandværksvand uden om regnvandsanlægget - det menes, at være tilstrækkeligt sikkert, for der er 2 kontraventiler i serie, som først skal være i stykker. Det er blevet benyttet få gange i kortere tid. Det er nødvendigt med en sådan mulighed ifølge viceværten, ellers har han alle beboerne på nakken.

Beboerne er tilfredse med anlægget, men i starten var der en undren over farven af vandet - det har folk vænnet sig til i dag. Der er sket en besparelse af vandforbruget til toiletter på ca. 50 %.
- *Anlæg på Frederiksberg (regnvand til toilet og vask, 1990)*
 Anlægget har en tank på 18000 l. Der benyttes regnvand til 26 toiletter og til klarvask i vaskeriet (til skyl og forvask bruges vandværksvand). Der var lidt for meget slam i vandet, som gjorde, at der ikke kunne nøjes med regnvand til vaskeriet. Der er ikke regnvand nok. Anlægget kunne ifølge viceværten være bedre, hvis man installerede en vandtank på loftet. Det kunne spare meget el-udgift. Pumpen går i gang hver gang toilettet trækkes. Anlægget har kørt i 10 år uden særlige problemer. Der er frit luftgab med tragt. Viceværten har modtaget anvisningen fra rørcentret og må erkende, at anlægget ikke opfylder de nye krav.
- *Anlæg i Vrads (privat, regnvand til vask og bruser, 1993)*
 Ejeren har selv lavet anlægget, som har en tank på 7000 l. Der bruges regnvand til alt bortset fra drikkevand, selv til brusebad og til at børste tænder. Der har ikke været problemer med anlægget. Der fyldes manuelt drikkevand i tanken, hvis det er nødvendigt - men det har det ikke været de sidste 4 år. Der ligger en slange, så påfyldningen bare kan ske ved at åbne en hane.
- *Anlæg i RY (privat, regnvand til toilet, vask, bruser mm. 1997)*
 Ejeren har selv bygget anlægget. Der bruges ligeledes regnvand til det hele - kun drikkevand kommer fra vandværket. Der bruges kun 4 m³ vandværksvand om året. I løbet af de 3 år anlægget har kørt, er der kun blevet påfyldt vandværksvand 1 gang. Ejeren har kendskab til 3

andre anlæg i kommunen, der er under opførelse. Der er stort set ikke sket ændringer på anlægget, siden han byggede det - kun lidt med filtret er blevet ændret.

- *Anlæg i Herning (regnvand til toilet, 1996+1999)*
Regnvandet benyttes kun til toiletskyl for 48 boliger. Anlægget blev opført i 1996, men opbygget i 1999, fordi tankene i kælderen gav lugtgener. Der er nu gravet en 32 m³ tank ned i 4 meters dybde. Der er frit luftgab. Man kan ikke koble anlægget fra og bruge rent vandværksvand uden at tilkalde en VVS-installatør. Der er blevet udskiftet en pumpe, og der vil blive anskaffet en ekstra for at sikre driftsstabilitet. Der opsamles 900 m³ regnvand om året. Der spares i forhold til de andre boliger 66 l pr. dag pr. bolig. Det vil sige forbruget er kun 113 l pr. dag pr. bolig mod 179 l i andre boliger. Boligselskabet er meget tilfreds med anlægget og vil gerne installere det i de kommende byggerier, de skal have lavet.

Opsummering af telefonrundspørge

Generelt må siges, at der er stor tilfredshed med de enkelte regnvandsanlæg. De fleste brugere oplever meget få problemer med anlægget, hvilket også giver sig udtryk i, at ingen omtaler anlægget negativt. Faktisk så er der et udbredt ønske om at udbrede det - det gælder både fra boligforeninger og privatpersoner. De fleste giver dog også udtryk for at det ikke er økonomisk rentabelt, hvis ikke der er fritagelse for vandafledningsafgiften. Der er meget forskel på, hvor godt de enkelte personer kender anlægget, for eksempel ved enkelte ikke, om der er frit luftgab. Flere nævner også, at de har en såkaldt fejlforbindelse - et par personer bruger en uautoriseret slangeløsning til at fylde vand i regnvandstanken - og andre kan tilføje drikkevand til toiletter ved at åbne og lukke for nogle haner. Det skal understreges, at alle anlæg er bygget før anvisning 003 fra Rørcenteret trådte i kraft. Ud fra ovenstående erfaringer må det konkluderes, at der er behov for en anvisning, der kan være med til at sikre, at regnvandsanlæggene bliver opbygget forsvarligt. Det er ikke mange af ovenstående anlæg, der vil opfylde den nye anvisning fra Rørcenteret.

5.1.4 Erfaringer fra producenter

Erfaringer fra 16 nyere anlæg

Efter at have undersøgt 16 nyere anlæg bygget på Sjælland inden for de sidste par år, må det konkluderes, at sikkerheden af disse anlæg er bedre end de erfaringer, der er hentet fra ældre anlæg. Ikke desto mindre er der fundet fejl på anlæggene.

Opsummering af de væsentligste fejl

Der blev fundet 3 anlæg uden luftgab (og dermed direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen) og 1 anlæg med fejl på luftgabets. På de 2 anlæg viste ejeren ikke, at det var påkrævet - anlæggene var opført af samme firma. I det 3. anlæg mente ejeren, at luftgabets havde være installeret, men at det måske var flyttet ned til regnvandstanken, men det kunne ikke ses. I anlægget med fejl på luftgabets var der påført en lille slangestump på luftgabets, fordi spædevandet sprøjtede ud på gulvet. Denne slangestump havde den lokale VVS-mand påført.

Ingen mærkning af rørene

Desuden må siges, at næsten alle anlæg havde en dårlig eller ingen mærkning af rørene - flere udtrykte, at de havde planer om at gøre mærkningen bedre. Mærkningen er især vigtig, når huset skifter ejer eller en anden VVS-mand skal foretage ændringer ved anlæggene. Hvis ikke rørene er tydeligt mærket, kan der let etableres fejlforbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen.

Generelt må det siges, at anlæg, hvor der er benyttet en såkaldt påfyldningscisterne, er mere sikre mod fejlforbindelser. En stor del af anlægget er placeret i en "kasse", som ikke indbyder til ændringer. Denne løsning er dog dyrere, hvorfor mange stadig vælger løsningen uden cisterne.

Fra mange af ejerne lyder det samstemmende, at det havde været ønskeligt, hvis installatøren af anlægget, havde større kendskab til, hvordan det skulle installeres. En bedre vejledning fra leverandøren kunne have undgået mange fejl fra installatørens side. De mange fejl har ligeledes fordyret anlæggene for mange af ejerne set i forhold til, hvad de først var stillet i udsigt.

Alt i alt må det konkluderes, at selvom komponenterne til anlæggene er i orden, så opstår der alligevel mange fejl pga. manglende uddannelse af installatørerne, så det viser, hvor vigtigt det er, at det indgår i uddannelsen fremover.

For en mere detaljeret beskrivelse af anlæggene henvises til Appendiks A.

5.2 Erfaringer fra Tyskland

Erfaringer fra Tyskland Tyskland har i lang tid før Danmark accepteret brug af regnvand i boliger og andre bygninger. Derfor har mange refereret til tysk viden om regnvandsanlæg under hele opstarten af debatten i Danmark. I Tyskland er regnvandsanlæg meget udbredt, og de har ligeledes haft en debat om risici ved brug af regnvand til wc-skyl og tøjvask. Der er dog primært fokuseret på de mikrobiologiske risici ved brug af regnvand til wc-skyl og tøjvask og ikke på de tekniske fejl, der kan opstå i forbindelse med drift og vedligeholdelse af regnvandsanlæggene. Hele debatten omkring forurening af den offentlige vandforsyning har ligeledes været debatteret i Tyskland, så der er mange paralleller mellem den tyske og den danske udvikling vedrørende brug af regnvand til wc-skyl og tøjvask.

Ingen teknisk risikoanalyse udført i Tyskland

Der er dog i Tyskland hverken foretaget en kvalitativ eller en kvantitativ risikoanalyse, hvor der alene er fokuseret på tekniske risici og ikke mikrobiologiske risici.

Gældende regler i Tyskland

I Tyskland findes der ligeledes regler omkring installation af regnvandsanlæg, som skal overholdes. Disse er beskrevet i DIN 1989-1 fra august 2000, som netop er ved at blive udfærdiget. Indtil denne standard træder i kraft har kravet været, at der skal opfyldes standarden for vandinstallationer DIN 1988-1, der bl.a. foreskriver et frit luftgab.

Kontakt til tyske regnvandseksperter

Gennem kontakt med tyske eksperter indenfor regnvandsanlæg bl.a. Dr. Holländer, fra "Landesuntersuchungsamt für Chemie, Hygiene und Veterinärmedizin" i Bremen og Dr. Lücke fra "FB Haushalt & Ernährung, Fachhochschule Fulda" og Professor Schoenen fra "Hygienische Institut, Bonn Universität", er det lykket at lokalisere følgende vigtige referencer vedrørende tekniske fejl på tyske regnvandsanlæg:

- Hygienische Aspekte der Regenwassernutzung – Dokumentation des fbr- Fachsymposium in Fulda (Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung) – 21.10.1998.
- Dachablaufwassernutzungsanlagen: Hygienische Probleme von W. Hentschel og U. Heudorf (1996).

I disse to referencer gengives resultater fra to tyske undersøgelser henholdsvis i Frankfurt am Main og Wetzlar.

Undersøgelse i Frankfurt am Main

Fra undersøgelsen i Frankfurt am Main kan følgende resultater fremhæves:

- 10 % - Intet luftgab (3 af 31 anlæg)
- 4 % - Kortslutning mellem regnvand og vandværksvand (1 af 25 anlæg)
- 28 % - Udførelsesfejl – anlæggene var i strid med det tyske drikkevandsregulativ (15 af 55 anlæg)
- 57 % - Ikke tilfredsstillende mærkning af rør (21 af 37 anlæg)

Undersøgelsen omfattede regnvandsanlæg til flere forskellige brug bl.a. wc-skyl, vaskemaskine og havevanding. Derfor varierer antallet af anlæg afhængig af hvilken fejltypen, der betragtes. Anlæg til havevanding har f.eks. ikke tilledning af vandværksvand, derfor indgår disse anlæg ikke under fejlen – intet luftgab.

Alle anlæg var godkendte

Det skal her pointeres, at følgende var gældende for alle regnvandsanlæggene:

- anlæggene var opført af fagfolk
- der var givet offentlig støtte
- man havde forinden bygning krævet fremlagt byggebeskrivelse
- man havde rådgivningssamtaler
- havde lavet brochurer om emnet "sikkerhed for drikkevandshygiejnen"
- installatøren havde forpligtiget sig til at følge plantegningerne
- et flertal af anlæggene var nyopførte, så de var i den bedst mulige tilstand
- kort før undersøgelsen havde vandforsyningsmyndighederne gennemført egen kontrol, således at de værste mangler var udbedret inden undersøgelsens start

Undersøgelse i Wetzlar

Fra en lignende undersøgelse i Wetzlar (Hygienische und technische Aspekte der Regenwassernutzung - anhand von Praxiserfahrungen aus der Stadt Wetzlar, G. Deltau, S. Christen, marts 2000), hvor der er bygget ialt 135 offentligt støttede anlæg, blev følgende tal observeret:

Følgende anlæg havde fejl på de frie luftgab:

- 22 % - Gamle anlæg bygget 1993 - 1996
- 16 % - Nye anlæg (97/98) uden rådgivning
- 3 % - Nye anlæg (97/98) med rådgivning

Blandt de nye anlæg havde ca. 60 % installeret det frie luftgab, som et særligt modul, hvorved fejl på luftgabet undgås, og der sikres en større driftsikkerhed. Alle anlæg blev bygget i perioden 1993 til 1998.

Der blev blandt de nye anlæg fundet 1 fejlforbindelse, dvs.

- 2 % - Kortslutning mellem regnvand og vandværksvand

Som det fremgår af ovenstående tal, er de tyske erfaringer i forbindelse med regnvandsanlæg meget lig de danske. Der er overraskende mange fejl på det frie luftgab, samt der er observeret direkte forbindelser mellem drikkevands- og

regnvandsinstallationen. Det skal dog ligeledes bemærkes, at i undersøgelsen fra Wetzlar observeres en betydelig nedgang i antallet af fejl på det frie luftgab, hvis regnvandsanlæggene etableres med rådgivning fra fagfolk. Dette er et emne, der behandles senere i rapporten.

Forureningseksempel i Bietigheim-Bissingen

På konferencen i Fulda refereres til et uheld i Bietigheim-Bissingen i 1992. Et regnvandsanlæg med en 4 m³ tank havde en fejlforbindelse til det offentlige vandforsyningsnet. Der skete en forurening af vandforsyningsnettet, hvilket betød, at der måtte bruges ca. 1.500 m³ drikkevand til at skylle ledningsnettet, og i 14 dage måtte forbrugerne koge vandet. De samlede saneringsomkostninger løb op i ca. 50.000 kr.

(Kilde: Dachablaufwassernutzung: ein hygienischer, ökologischer und ökonomischer Irrweg; H.G. Moll, 1994; Berichte über einen Schadensfall in Bietigheim-Bissingen 1992. Bietigheimer Zeitung 9/3, 11/3, 28/3 1992; Zeitschrift für die Kunden der Stadtwerke Bietigheim-Bissingen 5/6 '92).

Forureningseksempel i Köln

I et andet tilfælde i Köln fandt man, at drikkevandsnettet blev forurenet af regnvand. Anlægget var placeret i et hus, der var lejet af studerende. De studerende klagede over den dårlige vandkvalitet, og dermed fandt sundhedsmyndighederne ud, at der var en fejlforbindelse i anlægget.

(Kilde: Schreiben der Ruchtsrheinische Gas- und Wasserversorgung an der DVGW 17.11.1992)

Der er ikke kendskab, til særlig mange hændelser, hvor regnvand har forurenet vandforsyningsnettet, men der er mange eksempler på, at anlæg er udført forkert, således at der er en reel mulighed for at det kan ske. Det viser de ovenfor citerede undersøgelser, og der kan også nævnes følgende andre erfaringer, der er gjort i Tyskland:

Regnvandsanlæg i Münster

I Münster blev 32 lejligheder i 4 rækkehuse udstyret med et regnvandsanlæg til toiletskyl. Anlægget blev udover det frie luftgab forsynet med en direkte slangeforbindelse samt med en fast forbindelse mellem drikkevandsforsyningen og regnvandsanlægget for i tørre tider, hvor tanken er tom, at kunne lede vand direkte til toiletterne, og dermed spare strøm til pumpen.

(Kilde: Schreiben an der Stadtwerke Münster an das BGA vom 6.4 und 24.5.1993)

Undersøgelse i Hamborg

I en undersøgelse af regnvandsanlæg i Hamborg beskrives, at der i nogle anlæg ved vandmangel forbindes en slange mellem drikkevandsledningen og regnvandsledningen. Desuden nævnes, at wc-cisterner i regnvandsanlæg ofte har 2 fyldeventiler (en for drikkevand og en for regnvand), hvilket igen forøger risikoen for at få regnvand ud i vandforsyningen.

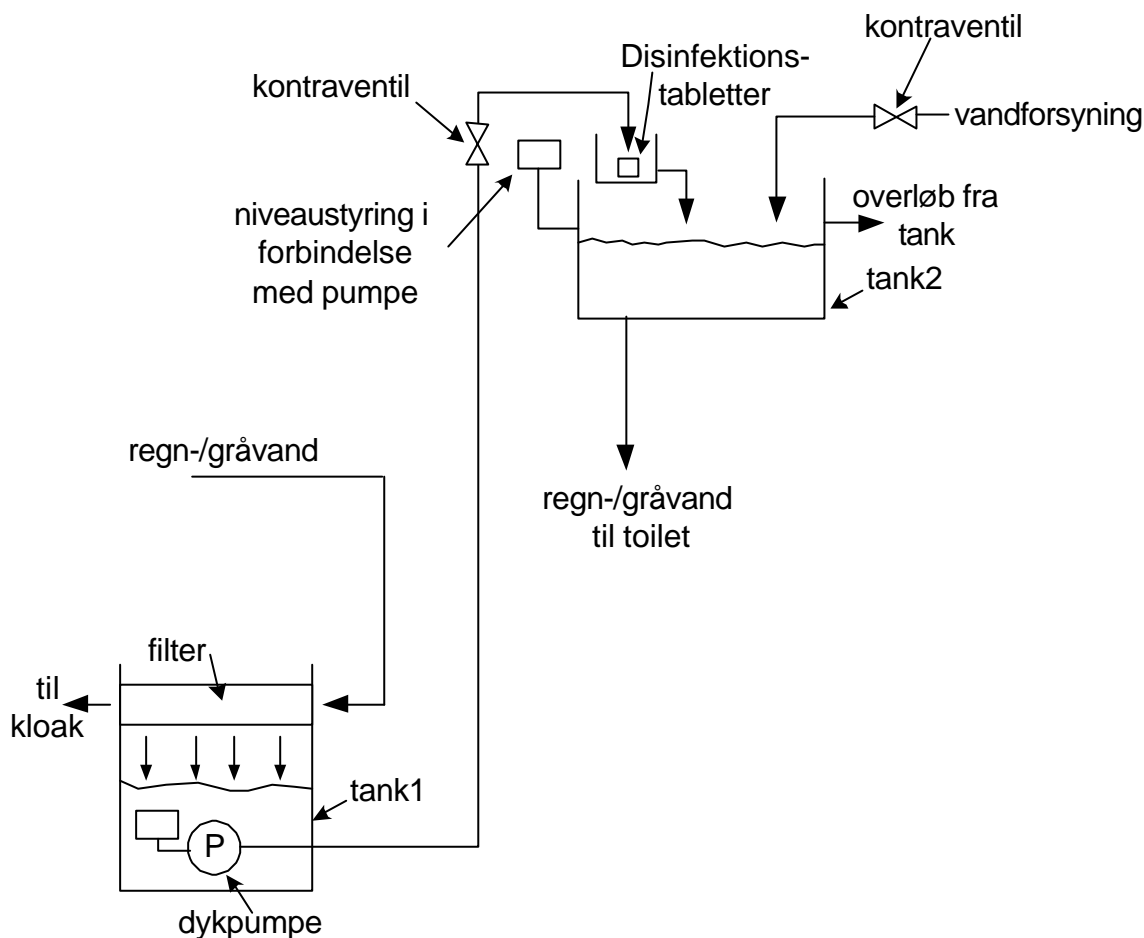
(Kilde: Hartung, H. et al: Einige Schwachstellen müssen noch beseitigt werden - Betriebserfahrungen mit Regenwassernutzungsanlagen in Hamburg, SHT 59 (1994), S. 62.)

Desuden blev på konferencen i Fulda refereret til en undersøgelse (det har ikke været muligt at lokalisere kilde nærmere – derfor skal dette tages med et vist forbehold). Af de undersøgte anlæg var lidt over 50 % installeret med en drikkevandstilledning under maksimal opstuvningsniveau. Ca. 10-20 % havde

ikke opfyldt standarden for luftgabet (DIN-1998). Alle anlæggene var blevet bygget af godkendte installatører.

5.3 Erfaringer fra England

Kontakt til engelsk firma Under udarbejdelsen af denne rapport er der etableret en kontakt til et engelsk firma – Water Dynamics Limited, mere specifikt Paul D. Williams. Water Dynamics Limited er et engelsk firma, der i over 10 år har arbejdet med grävands- og regnvandsanlæg. De har etableret over 2000 anlæg, hvor størstedelen benytter grävand til wc-skyl. På figur 5.6 ses en simpel principskitse af Water Dynamics' anlæg.



Figur 5.6: Principskitse af regn-/grävandsanlæg, hvor anlægsopbygningen følger Water Dynamics' gældende regler.

Beskrivelse af anlæg

Anlægget fungerer således, at regn-/grävandet ledes gennem et filter, hvor det filtrerede vand ender i tank1. I tanken er der placeret en dykpumpe, som aktiveres via en styreenhed, der registrerer vandstanden i tank2. Vandet pumpes fra tank1 til tank2, hvor det først ledes gennem en desinfektion. Fra tank2 ledes vandet videre til toiletet. På grund af brug af desinfektionsmidler kan vandet ikke bruges til vaskemaskine, men kun til wc-skyl.

I tilfælde af spædevandstilførelse sker dette via et luftgab i tank2, der overholder kravene stillet af myndighederne. Der er ligeledes placeret et overløb i tank2, således at opstuvning til luftgab ikke er muligt.

Autoriseret håndværk er et krav Anlægget skal installeres af autoriserede vvs-mestre og alle elektriske komponenter skal installeres af en autoriseret elektriker. Desuden skal de generelle anvisninger angivet af Water Dynamics følges.

Sammenligning af danske og engelske anlæg Sammenlignes de engelske anlæg med de danske, er der adskillige forskelle:

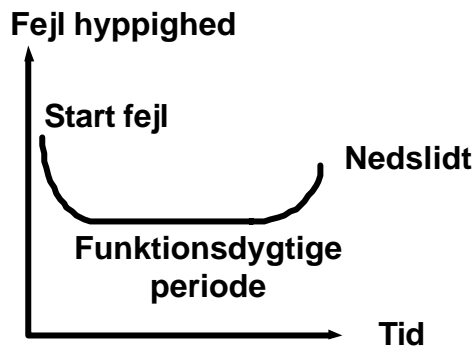
- ❑ Både anlæg til regnvand og gråvand indeholder desinfektion i de engelske anlæg, dette er ikke tilfældet i danske anlæg. I de danske anlæg er det primært kun grāvandsanlæg, der har en eller anden form for desinfektion.
- ❑ De fleste danske grāvandsanlæg, opført på forsøgsbasis, har en indbygget aerob eller anaerob rensning. Dette er ikke tilfældet med de engelske grāvandsanlæg.
- ❑ De engelske anlæg er meget kompakte og dermed mindre pladskrævende.
- ❑ Ved eventuel elafbrydelse er der ved de engelske anlæg et tankvolumen i tank2, som kan benyttes til wc-skyl i en begrænset periode, inden strømmen atter genoprettes. Dette bevirker, at incitamentet til fejlforbindelser nedsættes betydeligt.
- ❑ Hele den kritiske situation, hvor der er etableret en fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen, samt hvor trykket i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning er ikke en mulighed i de engelske anlæg. Der kan ikke etableres en direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen nedstrøms pumpen.

Efter Water Dynamics informationer overholder det behandlede vand de gældende sundhedskrav, der eksisterer i England. Umiddelbart virker de engelske anlæg mere sikre, når der fokuseres på forurening af den offentlige vandforsyning, da incitamentet for etablering af direkte forbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen nedsættes betydeligt.

6 Kvantitativ Risikoanalyse

6.1 Tilgængelig datamateriale

- Kvantificering er svær* En af de store opgaver i dette projekt har været at fremskaffe data omhandlende sandsynligheder for fejl for de forskellige fejltypen – primær fejl og sekundær fejl, der er beskrevet i kapitel 2.
- Manglende datamateriale* Det er nyt, at der indenfor det miljøtekniske område udarbejdes en risikoanalyse, og sådan en undersøgelse har aldrig været udført på anlægstyper som regnvandsanlæg og grävandsanlæg før. Med dette som udgangspunkt samtidig med, at der ikke er registreret de helt store erfaringer med regnvandsanlæg og grävandsanlæg i Danmark, er der lokaliseret forholdsvis få data om komponenter og dermed om fejl, der kan opstå i forbindelse med drift og vedligeholdelse af regnvandsanlæg.
- Databaser fra den kemiske industri og atomkraftværksindustrien* Det har derfor været nødvendigt at bruge data fra den kemiske industri og atomkraftindustrien, hvor der er udarbejdet mange databaser for fejl på komponenter af lignende typer, som dem der benyttes i forbindelse med regnvandsanlæg og grävandsanlæg. Inden for den kemiske industri og atomkraftindustrien er det meget udbredt med udarbejdelse af risikoanalyser, og derfor findes der utallige værker med data for enhver tænkelig komponent, der bliver benyttet inden for disse industrier. Komponenter herfra må forventes at være af en bedre kvalitet end komponenter benyttet i regnvandsanlæg og grävandsanlæg, hvorfor fejlfrekvenser (sandsynligheder) også må anses for at være mindre, end dem man vil få for regnvandsanlæg. Dette tages der højde for ved udvælgelse af data fra databaserne.
- To forskellige måder at angive data på* Dataene i databaser angives hovedsageligt på to forskellige måder - enten som en fejlrate pr. tidsenhed eller en fejlrate pr. aktivering. I nogle databaser angives også en "Mean Down Time" - dvs. den tid det tager fra fejlen opstår, til komponenten atter fungerer igen. Andre angiver en reparationstid, hvilket stort set er det samme.
- Badekarseffekten* Det er et kendt fænomen, at komponenter fejler mest i den første del og den sidste del af deres levetid - den såkaldte badekarseffekt. På figur 6.1 ses et eksempel på sådan en kurve. Efter en komponent er blevet installeret indtræder en fase, hvor der kan opstå en del såkaldte "baby-fejl". Derefter følger en funktionsdygtig periode, hvor komponenten fungerer mere eller mindre fejlfrit. Længden af denne periode vil variere fra komponent til komponent samt afhænge af andre faktorer som vedligeholdelse. Den sidste periode i en komponents levetid er en periode som helst skulle undgås, da dette er den periode, hvor der begynder at indtræffe fejl. Denne periode benævnes den nedslidte periode. Komponentens burde udskiftes før denne periode indtræffer. Da der ikke forefindes de store erfaringer ved brug af regnvands- og grävandsanlæggenes komponenter, er det endnu ikke muligt at konstruere sådan en kurve for regnvandsanlæggenes komponenter. Dette vil være muligt om en del år, hvor der forhåbentligt er indsamlet erfaringer fra drift og vedligeholdelse af regnvandsanlæg og evt. grävandsanlæg.



Figur 6.1: Badekarseffekten. I starten af en komponents levetid vil der være nogle såkaldte "baby-fejl", hvorefter denne fase overtages af en funktionsdygtig periode. Til sidst i komponentens levetid indtræder en fase, hvor komponenten begynder at blive nedslidt og burde udskiftes.

Producenter

Desuden er det forsøgt at fremskaffe data fra producenterne af komponenterne og enkelte udvalgte data fra vandværker, hvor der netop er erfaring med sådanne typer komponenter (kontraventiler, magnetventiler m.v.).

Erfaringer

Der er fremskaffet generelle data om regnvandsanlæg ud fra erfaringer i Tyskland og i udvalgte dele af Danmark

I det følgende beskrives de fundne data under de fejltyper, der er beskrevet i Kapitel 2 – primær fejl og sekundær fejl.

6.2 Primærfejl

Under primære fejl behandles følgende fejl:

- Kontraventil
- Magnetventil
- Pumper
- Tilbagestrømningssikring

6.2.1 Kontraventil

Der er indhentet data omhandlende kontraventiler fra databaser, producenter og fra vandværkskredsene.

Kontraventil: Database

Database

I databasen "Guidelines for Process Equipment Reliability Data with Data Tables" (GPERD) er der fundet data for kontraventiler. De fundne data baserer sig på data fra atomkraftindustrien indsamlet i perioden 1975 -1984 samt fra en generel database (NREP - Generic Data Base for Data and Models Chapter of the National Reliability Evaluation Program Guide). Resultaterne er angivet i tabel 6.1.

Tabel 6.1. De fundne data om kontraventiler i databaserne.

Fejltype: kan ikke lukke		
Fejl pr. 1000 aktiveringer		
Laveste værdi	Middelværdi	Højeste værdi
0,0307	1,61	6,68

I en anden database "T-book - Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants" er der ligeledes angivet fejlrate for kontraventiler. Dataene er baseret på 630 kontraventiler på 5 atomkraftværker i Sverige og Finland. Det angives, at der er en middelfejlrate på lukning af kontraventil på $1,8 \cdot 10^{-8}$ pr. time. Med andre ord vil det sige, at der kun sker 1 fejl pr. 6300 år. Det er en meget lille fejlrate. Det skal hertil bemærkes, at fejlraten er bestemt ud fra kun 5 registrerede fejl.

Variationen i de fundne data om kontraventiler

Databasen "Component Reliability Data for use in Probabilistic Safety Assessment" (CRDPSA) fra 1988 er en opsamling af data fra en del andre databaser. Heri angives en fejlrate for en kontraventil til gennemsnitlig $2,1 \cdot 10^{-6}$ per døgn, hvilket svarer til 1 fejl pr. 1370 år. Spændet af fejlrate går fra $8,0 \cdot 10^{-8}$ til $1,0 \cdot 10^{-4}$ fejl pr. døgn. Den højeste fejlrate svarer til 1 fejl pr. 2,7 år.

Det er valgt at benytte tallene fra GPERD, da de er angivet som antal fejl per aktivering. Da der ikke er oplyst, hvor ofte kontraventilerne er blevet aktiveret i de to andre databaser, hvilket bevirker, at det er sværere at overføre en sådan fejlrate til et regnvandsanlæg. Det er altså de mest anvendelige data.

Kontraventil: Vandværk **Erfaringstal fra vandværk**

Århus Kommune værker har de sidste 4 år (fra 1996 til 2000) ved stikprøvekontrol af vandmålere også kontrolleret kontraventilen. Fejlraten er ved disse stikprøvekontroller fundet til 2 promille (vandværkernes kontrol opfattes som en aktivering). Faktisk stemmer dette tal fint overens med tallet fra databasen på 1,6 fejl pr. 1000 aktiveringer, dvs. 1,6 promille pr. aktivering. Kontraventilen kontrolleres om den virker, hvilket opfattes som en aktivering, og derfor kan der siges, at stikprøvekontrollen har vist 2 promille fejl pr. aktivering.

Tallet fortolkes således, at tages der udgangspunkt i en tilfældig kontraventil, et tilfældigt sted og på et tilfældigt tidspunkt, er der 0,2 % sandsynlighed for, at den ikke virker ved aktivering.

Kontraventil: Producent

Data fra producenter

Det er ikke lykkedes at fremskaffe data for kontraventiler fra producenterne. Der er kontaktet 2 producenter (Danfoss, SAV Systemprodukter), og ingen har kunnet hjælpe med data. Det skal dog bemærkes, at producenterne erkender, at en kontraventil sætter sig fast efter en tid, og at den kræver vedligeholdelse for at fungere optimalt.



Figur 6.2: Billede af kontraventil fra Danfoss

Men at give et specifikt tal menes at være meget svært, idet levetiden afhænger af strømningstype, og hvor tit den åbnes. Danfoss har undersøgt om de internt har nogle tests, men det har ikke været muligt at finde nogle levetidstests med tilstrækkelig pålidelighed.

6.2.2 Magnetventil

Der er indhentet data omhandlende magnetventiler fra databaser og producenter.

*Magnetventil:
Database*

Database

I databasen "GPERD" er der ligeledes fundet data for magnetventiler. Værdierne baserer sig på flere atomkraftværker, den kemiske industri samt andre databaser. Data er vist i tabel 6.2.

Dataene er hentet fra følgende kilder:

- "Some Data on the Reliability of Instruments in the Chemical Plant environment",
- "Reliability Data Book for Components in swedish Nuclear Power Plants",
- "IEEE Starndard 500 - 1984";
- "NREP - Generic Data Base for Data and Models Chapter of the National Reliability Evaluation Program Guide"
- Reactor Safety Study: Am Assessment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Power Plants (WASH-1400).

Tabel 6.2: De fundne data om magnetventiler i databaserne.

Fejltype: ingen ændring af position ved aktivering: Fejl pr. 1000 aktiveringer		
Laveste værdi	Middelværdi	Højeste værdi
0,336	2,83	10,0

Fejlraten på 2,83 pr. 1000 aktiveringer må siges at være bemærkelsesværdig høj. Det ses i øvrigt, at der er en stor spredning på fejlraterne fra den laveste til den højeste værdi.

I T-book er for magnetventiler angivet en gennemsnitlig fejlrate på $10,8 \cdot 10^{-7}$ fejl pr. time. Tallet er baseret på 140 magnetventiler.

I databasen CRDPSA angives en gennemsnitlig fejlrate på $2,7 \cdot 10^{-7}$ fejl pr. døgn.

*Magnetventil:
Producent*

Producenterne

Danfoss' fabrik, der fremstiller magnetventiler, har gennemført "worst case" tests ved maksimal temperatur, tryk og flow, en kombination som sjældent forekommer i virkeligheden - og slet ikke på regnvandsanlæg. Under "worst case" konditioner klarer magnetventilerne mindst 250.000 koblinger (type EVSI 15-50).

Der kendes til anlægseksempler med magnetventiler, som har klaret 4 millioner koblinger. De faktorer, som påvirker levetiden, er medie, tryk, temperatur, flow og mekanisk belastning.



Figur 6.3: Billede af en magnetventil fra Danfoss

Magnetventil sikrer ikke mod tilbagestrømning

Danfoss fortæller desuden, at en magnetventil ikke sikrer mod tilbagestrømning. Opstår der et tryk på den forkerte side af ventilen, vil den ikke kunne stoppe væsken, og det vil løbe lige igennem.

6.2.3 Tilbagestrømningssikring

Der er forsøgt indhentet data omhandlende tilbagestrømningssikring fra databaser og producenter.

Tilbagestrømningssikring: Database

Database

Det er ikke lykkedes at finde denne type ventil i databaserne.

Tilbagestrømningssikring: Producenterne

Producent

Danfoss og Honeywell producerer tilbagestrømningssikringer (TBS-ventil, rørafbryder). Begge producenter mener, at risikoen for der kan ske tilbagestrømning gennem en TBS-ventil er ekstrem lille, så den er meget tæt på 0.

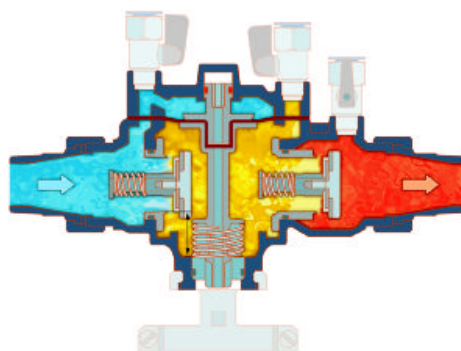


Figur 6.4: Bil leder af tilbagestrømningssikringer fra henholdsvis Danfoss og Honeywell

Som det ses i figur 6.4 adskiller de to tilbagestrømningssikringer sig fra hinanden. Danfoss fortæller, at ventilen godt kan fejle og sætte sig fast, men en særlig mekanisme i ventilen sikrer, at i tilfælde af tilbagestrømning vil vandet ledes ud af det lokale ledningsnet (f.eks. ud på gulvet) i stedet for i det offentlige vandforsyningsnet.

TBS-ventilens funktion

TBS-ventilen er opbygget med flere ventiler, bl.a. en kontraventil og drænventil. Hvis kontraventilen svigter, åbner drænventilen og evakuerer vandet ud gennem drænventilen, hvilket forhindrer tilbageløb. Hvis der opstår fejl på TBS-ventilen, vil den kontinuerligt lække vand ud gennem drænventilen. Tilbagestrømningssikringen vil fortsat fungere, men fejlen skal rettes.



Figur 6.5: Skitse af opbygningen af TBS-ventilen i åben tilstand (Danfoss).

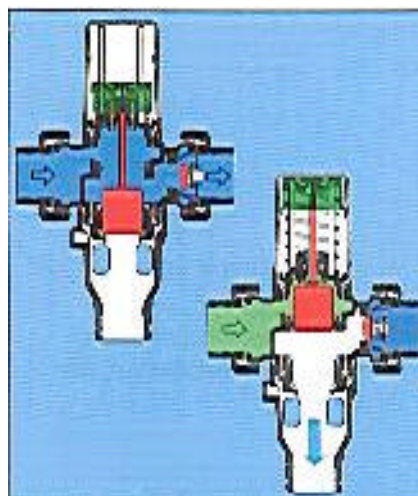
Årlig kontrol

Danfoss anbefaler, at ventilen kontrolleres årligt af en vvs-installatør, og giver desuden udtryk for, at de mener, at den er så sikker, at det efter deres mening er unødvendigt med et frit luftgab ved spædevandstilførsel til regnvandsanlæg/grāvandsanlæg, men det er ifølge vandnormen et krav, at den skal være der. De angiver også, at ventilen ikke må kunne oversvømmes. Det, der ifølge Danfoss gør TBS-ventilen så velegnet til brug i regnvandsanlæg er, at den er enkel at installere, der gives signal til brugeren, når der er behov for inspektion (ved at der kommer vand på gulvet) og det kræver håndværkererfaring at bypasse den.

Årlig kontrol

Honeywell fortæller, at deres TBS-ventil af typen R295 er velegnet til sikring mod tilbagestrømning fra regnvandsanlæg/grāvandsanlæg under forudsætning af, at der er et frit luftgab på 20 mm i henhold til vandnormen, der kræver luftgab for regnvand.

Honeywell anbefaler ligesom Danfoss en årlig kontrol af ventilen for at sikre ventilens funktion. Derved sikres en levetid på mindst 10 år. TBS-ventilen af denne type er produceret siden 1985 og benyttet i mange husholdninger i Tyskland. Der kendes dog ikke til eksempler, hvor den er benyttet i regnvandsanlæg/grāvandsanlæg. Fejlraten for ventilen ligger i et område tæt på 0% og kan næsten udelukkende henføres til manglende vedligeholdelse.



Figur 6.6: Skitse af opbygningen af TBS-ventilen i åben og lukket tilstand (Honeywell).

6.2.4 Pumper

Der er indhentet data omhandlende pumper fra databaser og producenter.

Pumper: Database

Database

I databasen "Guidelines for Process Equipment Reliability Data with Data Tables" er der fundet data for centrifugalpumper. Centrifugalpumper er de oftest benyttede pumper til regnvandsanlæg/grāvandsanlæg. Værdierne baserer sig på en database for atomkraftværker (The In-Plant Reliability Data Base for Nuclear Power Plant Components) og et anlæg i den petrokemiske industri (Failure and Maintenance Data Analysis at a Petrochemical Plant). I tabel 6.3 er data for pumperne angivet.

Tabel 6.3: De fundne data om pumper i databaserne.

Fejltype: vil ikke starte ved aktivering		
Fejl pr. 1000 aktiveringer		
Laveste værdi	Middelværdi	Højeste værdi
1,94	18,6	59,9

I T-book er for centrifugalpumper angivet en gennemsnitlig fejlrate på $11,1 \cdot 10^{-7}$ fejl pr. time. Tallet er baseret på 22 pumper.

I databasen CRDPSA angives en gennemsnitlig fejlrate på $5,5 \cdot 10^{-5}$ fejl pr. time.

Også for pumper vælges at benytte fejlraten fra GPERD. Dvs. middelværdien 18,6 fejl pr. 1000 aktiveringer.

Pumper: Producent

Producenter

Grundfos fortæller, at rustfri pumper egnet til regnvandsanlæg, og som kan levere op til $25 \text{ m}^3/\text{h}$, har en levetid på 12000 - 15000 driftstimer, hvis der holdes et årligt eftersyn på dem. Fejlmarginen, efter at pumperne er kommet i drift, er for den type pumper på 1,5%. Fejlraten er baseret på 70.000 pumper. Dykpumper har en lidt større fejlmargen end pumper uden for tank. Levetiden vil forværres betydeligt, hvis ikke vedligeholdelsen overholdes - helt op til 80% kortere tid (især hvis der er tale om grumset vand). Hvis det antages, at en pumpe har 1000 årlige driftstimer, vil pumpens levetid være f.eks. 12 år med vedligeholdelse og levetiden uden vedligeholdelse vil generelt være reduceret til 4-5.

Hvis en pumpe kontrolleres for fejl ved at blive aktiveret, kan fejlraten tolkes som 1,5% pr. aktivering. I databasen GPERD fandt vi netop en fejlrate på 1,9 % pr. aktivering. Der ses altså en pæn overensstemmelse mellem database og producentens tal.

Regnvandspumper kan yde et stort tryk

Pumper, der bliver brugt til regnvandsanlæg, har naturligvis forskellige størrelser afhængig af, hvor store anlæggene er. De forhandlere af regnvandsanlæg, der har bidraget til undersøgelsen, leverer dog pumper til anlæggene, der kan levere en trykhøjde på minimum 40 m og op til 100 m. Da trykket i vandforsyningsnettet ofte kun er mellem 20 og 40 m, betyder det, at pumperne næsten altid vil kunne levere en trykhøjde, der er højere end i vandforsyningen, og dermed kan pumpe forurenede vand (regnvand, gråvand, spildevand) ud i forsyningsnettet, hvis der er etableret en evt. fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvands-/gråvandsinstallationen. Dette er bemærkelsesværdigt, for det er dette forhold, der har vist sig at være mest betydningsfuldt.

6.3 Sekundære fejl

Under sekundære fejl behandles følgende fejl:

- Oversvømmelse i kældre
- El-afbrydelse
- Trykket går af det offentlige vandforsyningsnet
- Betjeningsfejl

Oversvømmelse

6.3.1 Oversvømmelse i kældre

De større forsikringsselskaber i Danmark er kontaktet for at få data for antallet af oversvømmelser i kældre i Danmark. Enkelte forsikringsselskaber har været villige til og har haft mulighed for at fremskaffe data. Det drejer sig om selskaberne Codan, Østifterne og Tryg-Baltica.

Erfaringer fra Codan

Codan skønner, at et antal på 500 om året er et rimeligt skøn. I 1998 havde Codan 585 oversvømmelseskader i kældre, og i 1999 var antallet 507. Codan har ca. 15% af forsikringsmarkedet. Omkostninger kan opgøres til ca. 5 mio. om året.

Hvis Codans tal kan regnes for at være dækkende for hele forsikringsmarkedet, vil det betyde, at på landsplan vil der være 3300 skader om året.

Erfaringer fra Østifterne Østifterne har i perioden 1/1-97 til 1/6-2000 haft 1450 oversvømmelsesskader i kældre. Dette svarer til et årligt antal på 414 skader. Østifterne har 4 % af forsikringsmarkedet. Hvis dette er dækkende for hele landet svarer det til et årligt antal i hele landet på 10360 skader.

Erfaringer fra Tryg-Baltica Tryg-Baltica har fremskaffet data for perioden 1995 til 1999 (se tabel 6.4). I alt har de registreret 9337 oversvømmelsesskader i perioden. Dvs. at antallet af oversvømmelsesskader har været 1867 pr. år. Tryg-Baltica har 18-20% af forsikringsmarkedet for ejendomme. Hvis deres tal er dækkende for hele landet svarer det til et årligt antal oversvømmelser i hele landet på 10370 skader (ved 18%). Et resultat, der ligger tæt op af Østifternes tal.

Tabel 6.4: Antal oversvømmelser oplyst af Tryg-Baltica.

År	Antal dage med mindst 25 oversvømmelsesskader	Antal oversvømmelsesskader
1995	5	568
1996	9	1335
1997	25	4320
1998	8	1292
1999	24	1802
Total	71	9337

0,64 % sandsynlighed for at få oversvømmelse jævnfør data fra forsikringselskaber

Alt i alt er der modtaget data fra ca. 37 % af forsikringsmarkedet. De tre forsikringsselskaber har tilsammen 2781 oversvømmelser pr. år. Hvis vi overfører det til landsplan bliver det 7516 oversvømmelsesskader om året. Der findes 1,15 mio. parcelhuse og 325.000 række- og dobbelthuse i Danmark. Det anslås, at ca. halvdelen af parcelhuse og rækkehuse har kælder. Dvs. at sandsynligheden for at få oversvømmelse er 1 % om året, når der tages udgangspunkt i data fra forsikringsselskaberne. Dette tal vil selvfølgelig varierer fra by til by eller fra sted til sted.

Afløbsteknisk indgangsvinkel

En anden indgangsvinkel til data omhandlende hyppigheden af oversvømmelse i et bestemt område er via dimensioneringsgrundlaget for det aktuelle afløbssystem. Generelt dimensioneres et afløbssystem således, at der f.eks. er fuldtløbende ledning hvert 2 år. Dette varierer fra sted til sted, og skal derfor undersøges i hvert enkelt område.

El-afbrydelse

6.3.2 El-afbrydelse

Elselskabernes forskningsinstitution DEFU har lavet et projekt over el-afbrydelser i Danmark. Der er samlet data fra alle elselskaber i Danmark. I undersøgelsen har man fundet, at over en 10 årlig periode er der i gennemsnit 0,7 afbrydelser pr. husstand om året, som i gennemsnit varer under en time. Der er ikke nogen geografisk forskel, og der er en meget begrænset forskel på om, det er bymæssigt område eller landligt område.

6.3.3 Trykket går af vandforsyningsnettet

Trykket går af nettet

Der er blevet rettet henvendelse til en del kommunale vandforsyninger rundt omkring i landet for at få data, der kan beskrive, hvor tit trykket går af den offentlige vandforsyning. Der er indhentet data fra følgende vandforsyninger:

- Århus Kommunale Værker
- Energi Randers Vand
- Odense Vandforsyning
- Rønne Vand- og varmforsyning
- Holbæk Vandforsyning
- Gentofte Vandforsyning

Det er dog kun data fra Århus Kommunale Værker (ÅKV), der har haft en sådan detaljeringsgrad, at vi har kunnet beregne en sandsynlighed for, hvor ofte trykket går af det offentlige vandforsyningsnet. Det er farligt at benytte data fra Århus til at generalisere over hele landet, da der er store forskelle fra de enkelte vandforsyninger. Det er dog valgt kun at medtage data fra Århus, da det er Århus, der tages udgangspunkt i de senere beskrevne modelsimuleringer af konsekvensen ved en eventuel forurening.

Data hentet fra ÅKV

Der er modtaget tal fra de sidste 6 år for antallet af aflukninger af boliger pga. ledningsbrud fra ÅKV, og desuden modtaget tal for hvor lang tid aflukningen har varet.

Tallene fra ÅKV viser, at over en 6-årig periode er der i gennemsnit 3660 boliger i Århus, der årligt bliver berørt af ledningsbrud. Den gennemsnitlige tid for nedbrud er 2,9 timer. Der bor i gennemsnit 2,19 borgere pr. husstand. Det betyder, at sandsynligheden for, at en borger oplever, at trykket går af nettet er 0,037 på grund af ledningsnedbrud. I denne beregning er det forudsat, at der bor 216.000 personer i Århus (Danmarks Statistik). Fra ÅKV er det senere blevet oplyst, at der pr. 1.1.2001 bor 287.000 personer i forsyningsområdet. Dette er dog ikke indlagt i beregningerne, da forskellen er uden nævneværdig betydning for de senere konklusioner.

Det skal nævnes, at for små vandforsyninger går trykket af nettet hver gang, der er strømafbrydelse, fordi der benyttes hydroforer i stedet for højdebeholdere og disse er afhængige af strøm. Det er ofte meget kort tid, at folk vil opleve, at trykket er gået af nettet. Det er valgt ikke at medtage dette forhold i bestemmelse af fejlhyppigheden.

6.3.4 Betjeningsfejl

Definition af betjeningsfejl

Betjeningsfejl defineres som fejl opstået ved forkert brug af anlægget, manglende vedligeholdelse, eller hvis man ved rensning af tank lægger en vandslange ned i tanken; det kan også være, at der laves en midlertidig forbindelse mellem drikkevands- og regnvands/gråvandsinstallationen. Permanente fejlforbindelser hører derimod under udførelsesfejl, men det vælges alligevel at behandle disse under et, da datamaterialet ikke muliggør en opdeling af disse fejltyper.

Kvantificering af betjeningsfejl er meget svært

Det er meget svært at kvantificere betjeningsfejl. Det kræver et stort erfaringsgrundlag, hvilket ikke er tilstede for regnvandsanlæg og gråvandsanlæg. Det er meget individuelt, hvordan indehaverne af regnvandsanlæg og gråvandsanlæg håndterer driften og vedligeholdelsen af anlæggene, og derfor vil variationen i betjeningsfejl være meget stor og næsten umulig at forudsige fra et anlæg til det næste. Det der er målet i dette underafsnit er at komme med et estimat på, hvor stor sandsynligheden for betjeningsfejl er ved at tage udgangspunkt i forskellige erfaringsdata omhandlende drift og vedligeholdelse af anlæggene.

Datagrundlag for kvantificering af betjeningsfejl

Tidligere i rapporten er erfaringer fra Danmark, Tyskland og England beskrevet, så der ligger en del erfaringer fra eksisterende anlæg, og det er disse, der tages udgangspunkt i. Mange af disse fejl kan henføres til projekterings- og udførelsesfejl, fordi de første anlæg, der blev bygget ikke altid har været lige hensigtsmæssige i konstruktionen. Dette skyldes, at der på dette tidspunkt ikke eksisterede retningslinier for projektering/konstruktion af regnvandsanlæg og grävandsanlæg. Men en del af fejlene kan dog tilskrives betjeningsfejl, som f.eks. at brugeren ikke har vedligeholdt anlægget, eller senere har ændret rørføringen i anlægget, og dermed skabt en fejltilslutning mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen.

Almindelige brugsfejl

Almindelige brugsfejl tages der ikke højde for, da disse ikke har alvorlige konsekvenser, når risici for forurening af det offentlige vandforsyningsnet undersøges. Dvs. ved f.eks. fejlbetjening af en pumpe eller den automatiske styreenhed eller manglende rensning af filter, kan dette ikke medføre, at der bliver ledt urent vand ud i det offentlige vandforsyningsnet. Til gengæld kan en almindelig brugsfejl øge incitamentet til at foretage ændringer på anlægget, der medfører en betydelig forøgelse af sandsynligheden for forurening af det offentlige vandforsyningsnet.

Den farligste betjeningsfejl

Den farligste type betjeningsfejl er etableringen af rørforbindelsen mellem drikkevands- og regnvands-/grävandsinstallationen.

Ændring af holdning

I starten af denne undersøgelse var den generelle holdning, at sådanne fejl aldrig opstår, og at det var unødvendigt at undersøge disse forhold nærmere. Men som tallene beskrevet i kapitlet "Erfaringer fra eksisterende anlæg" antyder, er sådanne typer fejl et reelt problem. På grund af dette har der i Tyskland været ytre ønske om, at et anlæg ikke kun blev kontrolleret af myndighederne ved opførelse, men også efter en vis periode – altså en årlig inspektion.

Ved kvantificering af betjeningsfejl har det ikke været muligt at skelne mellem kortslutninger foretaget som udførelsesfejl eller betjeningsfejl, derfor vil disse blive behandlet under et.

Direkte fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen

I forbindelse med en undersøgelse fra Frankfurt am Main blev der registreret, at 4 % af anlæggene (1 af 25 anlæg) havde en direkte fejltilslutning mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. I undersøgelsen fra Wetzlar var tallet 2% (1 af 60 anlæg (nye anlæg med og uden rådgivning)). I Odense fandt man, at 1 af de 5 undersøgte anlæg havde to direkte fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen (20 %). I Århus blev der registreret direkte fejlforbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen i 3 af de 10 anlæg (30 %). Der er desuden undersøgt i alt små 20 anlæg fra en leverandør af regnvandsanlæg. Denne undersøgelse viste, at 3 af anlæggene havde en direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen (15 %). På grund af tids- og ressourceproblemer, er det valgt at antage, at små 20 anlæg viser det generelle billede af leverandørens anlæg. I Appendix A findes en mere detaljeret beskrivelse af 16 af anlæggene.

Foretages en vægtning af de ovenstående undersøgelser bliver resultatet, at sandsynligheden for en etablering af en fejlkobling mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er ca. 6 %. Hvor denne fejlkobling er foretaget, tages der ikke stilling til her. Antallet af komponent fejl, der skal ske inden en forurening af den offentlige vandforsyning er en realitet, vil variere afhængig

af fejlforbindelsens start og endepunkt. De mulige fejlforbindelsesmuligheder er vist i Kapitel 3 "Regnvandsanlæg".

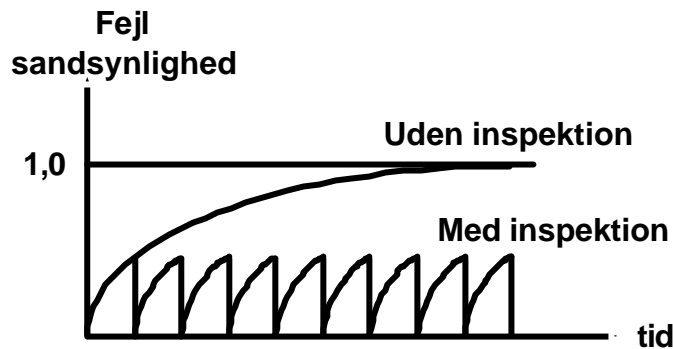
- Fejl på det frie luftgab – erfaringer fra Tyskland* En anden type fejl, som kan resultere i, at der sker forurening af den offentlige vandforsyning, er, hvis der er fejl på det frie luftgab til regnvandstanken, eller hvis det ikke eksisterer. En undersøgelse fra Wetzlar af 71 anlæg viste, at der var fejl på luftgabet for 22 % af anlæggene, der var bygget før 1996. Sandsynligheden var 16 % for nye anlæg bygget i 1997/1998, hvor der ikke havde været rådgivning på og 3 % for anlæg med rådgivning. Undersøgelsen i Frankfurt am Main viste ikke eksisterende luftgab i 10 % af anlæggene (3 af 31 anlæg). Det skal bemærkes, at disse anlæg alle var udført af autoriserede fagfolk.
- Fejl på det frie luftgab – erfaringer fra Danmark* I Danmark er der lignende erfaringer. I Odense var der ikke eksisterende luftgab ved 3 ud af 5 anlæg (60 %), mens der i Århus var ikke eksisterende luftgab ved 3 ud af 10 anlæg (30 %). Ved leverendørens anlæg var der ikke eksisterende luftgab ved 4 af de 20 anlæg (20 %).
- Sandsynlighed for fejl på det frie luftgab* Vægtes de tyske og de danske erfaringer vedrørende fejl på det frie luftgab bliver resultatet, at der er 11 % sandsynlighed for fejl på det frie luftgab. Til gengæld må det forventes, at det er mest repræsentativt at benytte data fra den tyske undersøgelse, hvor anlæggene var opført med rådgivning. Derfor er 11 % lovligt højt sat. Tages der i stedet udgangspunkt i de tyske undersøgelser, hvor anlæggene har været projekteret/opført af fagfolk, fås en sandsynlighed for fejl på det frie luftgab på ca. 6 %.
- Mulig forklaring af de forholdsvis høje sandsynligheder på fejl på det frie luftgab* På en konference med titlen "Hygienische Aspekte der Regenwassernutzung" (1998) blev det desuden fortalt, at i en unavngiven undersøgelse fandt man fejl på luftgabet på mellem 10 og 20 %. Grunden til de forholdsvis høje sandsynligheder for luftgabet, bliver bl.a. forklaret med, at der i den første installationsvejledning i Tyskland indeholdt nogle fejl netop vedrørende det frie luftgab.
- Forventninger indenfor regnvandsanlæg* Umiddelbart virker de ovenstående sandsynligheder for fejlforbindelser og for fejl på det frie luftgab store, og det må forventes, at efter den nye anvisning 003 er udgivet, at anlæggene bygges med færre fejl. Udviklingen indenfor regnvandsanlæg går i den retning, at anlæggene bliver mere og mere modul-opbygget, således at der er færre komponenter, der kan "pilles" ved. Dette vil betyde, at incitamentet og mulighederne for at etablere fejlforbindelser bliver mindre. Et regnvandsanlæg bliver i dag leveret i et meget lille antal dele.
- Da både sandsynligheden for direkte forbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen samt fejl på det frie luftgab er bestemt til 6 %, er dette det bedste estimat for en sandsynlighed for betjeningsfejl.

6.4 Vedligeholdelse af anlæg.

Vedligeholdelse af anlæggets enkelte komponenter

Vedligeholdelse af et regnvandsanlæg er meget vigtig for levetiden af de enkelte komponenter og dermed reduktion af mulige fejl på anlæggets enkelte dele. På figur 6.2 ses en kurve, der viser forskellen på fejlsandsynligheden for en komponent med og uden vedligeholdelse/inspektion af komponenten.

Figur 6.2: Forskellen på fejlsandsynligheden for en komponent med og uden inspektion.



Hvis der ikke foretages jævnlig vedligeholdelse/inspektion af anlæggenes enkelte komponenter, vil fejlsandsynligheden nærme sig asymptotisk 1. Ved inspektion vil denne fejlsandsynlighed holdes på et rimeligt niveau. Ved sådan en inspektion vil der ligeledes være mulighed for at tjekke anlægget for direkte forbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen, hvilket vil reducere risici for forurening af den offentlige vandforsyning.

Anbefalinger fra producenterne

For at sikre et anlæg den længste levetid, må det generelt forventes, at et regnvandsanlæg skal have en grundig gennemgang én gang om året. Danfoss og Honeywell anbefaler, at kontraventiler og tilbagestrømningssikringer kontrolleres én gang om året og ligeledes anbefaler Grundfos, at pumpen efterses én gang om året. I Tyskland anbefaler man, at rørledninger og drikkevandstilledningen også tjekkes én gang om året, og at filteret efterses én gang hver 2. måned. I Danmark er erfaringerne for vedligeholdelse af de enkelte komponenter af lignende art.

Vedligeholdelse af pumper

Det er kun lykkedes at fremskaffe tal vedrørende vedligeholdelse for pumper. For som nævnt kan en pumpe levetid forkortes med 80 %, hvis den ikke bliver vedligeholdt - det mest almindelige er dog en reduktion på ca. 40 %. Der findes dog ingen tal for, hvordan dette influerer på fejlfrekvensen, og det er det tal, der skal bruges i kvantificeringen.

Hvem skal foretage vedligeholdelsen/inspektionen af anlæggene

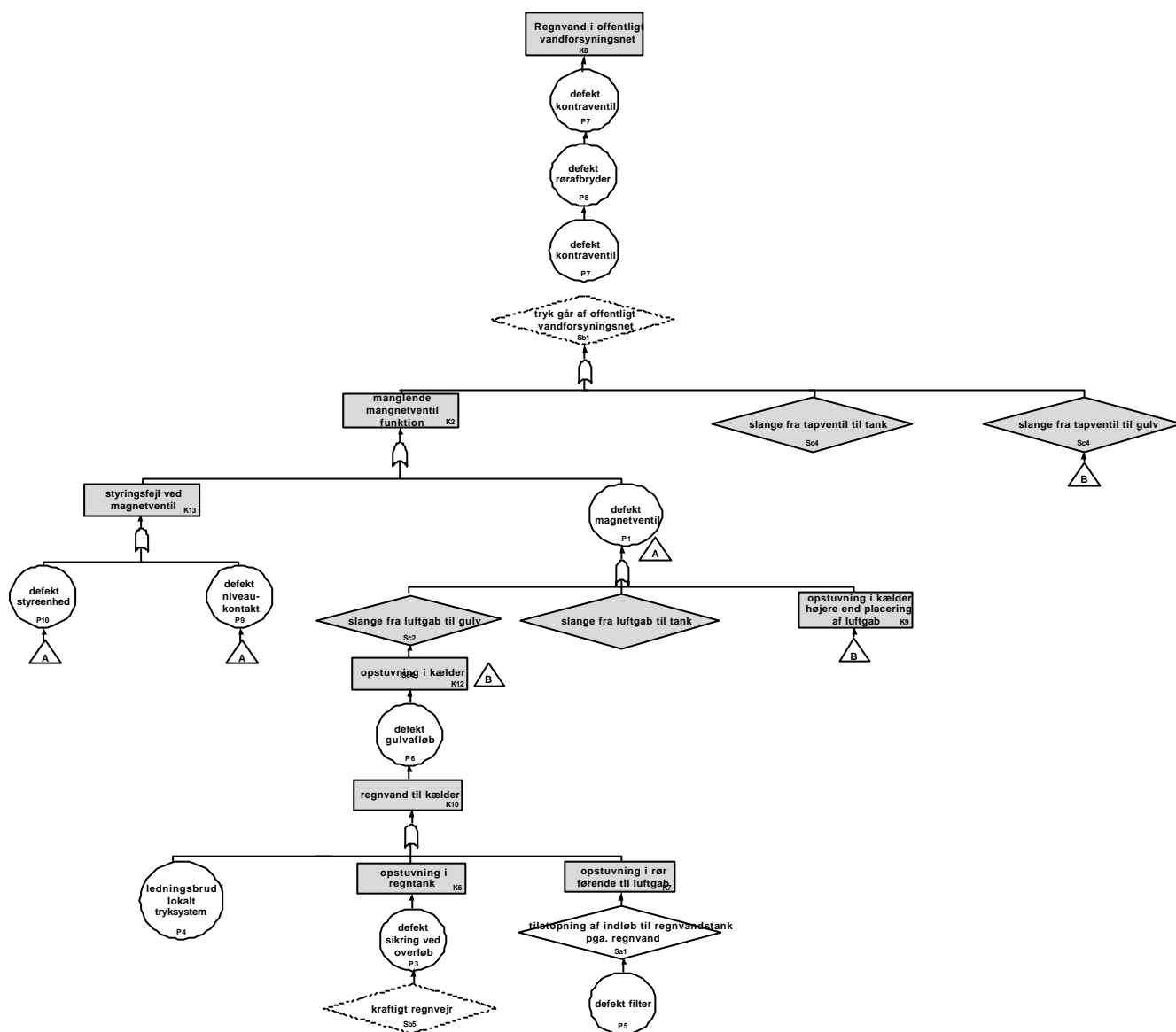
Hvem skal foretage vedligeholdelsen/inspektionen af anlæggene

En vigtig diskussion i forbindelse med vedligeholdelse af de enkelte anlæg i boligerne er, hvem skal foretage denne vedligeholdelse/inspektion, og hvor ofte skal den foregå. Den generelle vedligeholdelse af anlæggenes komponenter skal håndteres af indehaveren af anlægget – det vil sige rensning af filteret m.v.. Men komponenter på vandforsyningssiden samt generel kontrol af anlægget set i forhold til etablering af fejlforbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen skal foretages af myndighederne. Grunden til, at dette anbefales er, at det er på vandforsyningssiden, at der er bekymring for forurening af den offentlige vandforsyning. Derfor bør kontrollen i forhold til sikkerheden på vandforsyningssiden prioriteres højt, og dermed udføres af fagfolk. Hvordan og hvor ofte denne inspektion skal foretages, tages der ikke stilling i denne rapport.

7 Fejltræer med sandsynlighed – regnvandsanlæg

7.1 Regnvand i den offentlige vandforsyning

Regnvand i den offentlige vandforsyning Den første af de to uønskede hændelser, der behandles i den kvantitative risikoanalyse af et regnvandsanlæg, er regnvand i den offentlige vandforsyning. På figur 7.1 ses det opstillede fejltræ for denne uønskede konsekvens. Fejltræet er hentet fra rapporten "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse" og dækker alle måder, hvorpå regnvand fra et regnvandsanlæg opbygget principielt efter Teknologisk Institut, Rørcentret's anvisning 003, kan komme i forbindelse med det offentlige vandforsyningsnet. Det skal bemærkes, at nogle af de beskrevne fejlmuligheder forudsætter, at der er foretaget ulovlige eller fejlagtige kortslutninger (også benævnt en sekundær betjeningsfejl).



Figur 7.1: Fejl træ – regnvand i den offentlige vandforsyning. Fejl træet beskriver alle tænkelige muligheder for, at regnvand kan trænge ind i det offentlige vandforsyningsnet i forbindelse med etablering og drift af det anbefalede regnvandsanlæg.

Hovedkonsekvens Øverst i fejltræet er placeret hovedkonsekvensen ”regnvand i den offentlige vandforsyning”. Dernæst er defekt kontraventil og defekt tilbagestrømningssikring (rørafbryder) og igen defekt kontraventil angivet. Den første kontraventil er den på stikledningen til den enkelte husstand. Rørafbryderen er ligeledes placeret på stikledningen. Den næste kontraventil er enten den, der sidder i forbindelse med vandmåleren, der måler vandforbruget til efterfyldning i tanken, eller den kontraventil, der er placeret før tapventilen.

For at hovedkonsekvensen i dette tilfælde skal kunne indtræffe, skal ifølge figur 7.1 trykket gå af det offentlige vandforsyningsnet.

Det er desuden er forudsætning for hovedkonsekvensen, at enten den eksisterende magnetventil ikke fungerer, hvorved der er mulighed for, at regnvand kan suges ud i det offentlige vandforsyningsnet, eller at der sker en kortslutning til det offentlige vandforsyningsnet via tapventilen (punkt 20 på figur 3.1).

Manglende magnetventil funktion Forfølges først grenen ”manglende magnetventil funktion”, kan denne opdeles i ”defekt magnetventil” og ”styringsfejl ved magnetventil”. Under ”styringsfejl ved magnetventil” opdeles træet igen i to grene, hvor den ene er ”defekt styreenhed” og den anden er ”defekt niveauekontakt”. Enten kan niveauekontakten være defekt og dermed sende et forkert signal til den automatiske styreenhed, hvormed magnetventilen aktiveres forkert. Eller også kan den automatiske styreenhed være defekt og dermed sende et forkert signal til magnetventilen. Fejltræet under henholdsvis ”defekt magnetventil”, ”defekt styreenhed” og ”defekt niveauekontakt” er identiske. Derfor gennemgås kun den ene, hvilket er symboliseret med bogstavet ”A”.

Det skal her bemærkes, at under normale omstændigheder, vil en defekt magnetventil bevirke, at vandværksvandet strømmer direkte ud i kælderen eller ned i regnvandstanken. Kun i situationen, hvor trykket er gået af det offentlige vandforsyningsnet, ville en sådan fejl ikke kunne identificeres.

Kortslutning For at hovedkonsekvensen skal opstå er det nødvendigt, at der enten sker en kortslutning af luftgab (”slange fra luftgab til gulv eller tank”) eller, at der sker ”opstuvning i kælder højere end placering af luftgab”. Forfølges først kortslutning af luftgab. Der er to muligheder – enten kan der ske en kortslutning mellem luftgab og gulv eller mellem luftgab og tank. Hvis kortslutningen sker mellem luftgab og tank, er forbindelsen skabt.

*Kortslutning af luftgab
Opstuvning i kælder* Forfølges den anden mulighed – kortslutning mellem luftgab og gulv, skal der ske ”opstuvning i kælder”. For at dette kan blive aktuelt skal der være et defekt gulvafløb, således at regnvand, der ledes ud i kælderen, ikke kan forsvinde via gulvafløbet.

Regnvand i kælder ”Regnvand i kælder” kan ske på tre måder: den første måde er ved et ledningsbrud på et af de rør, der fører regnvand i det lokale system. Den anden måde er ved opstuvning i tank. For at opstuvning i tank kan ske, er det nødvendigt, at sikringen ved overløbet fra tanken ikke fungerer (f.eks. tilstoppet). Selve opstuvningen i tanken af regn skyldes et kraftig regnvejr. Den tredje måde er, at der sker opstuvning i rør førende fra luftgab til regnvandstank. For at dette skal ske, er det nødvendigt, at der sker en

tilstopning af indløbet til regnvandstanken. Denne tilstopning af indløbet kan skyldes et defekt filter på nedløbsrøret, således at de store partikler i regnvandet ikke bliver frasorteret. Dette er mere eller mindre sandsynligt afhængig af, hvilket type filter, der benyttes i regnvandsanlægget

Forbindelse via tapventil Betragtes nu kortslutningen, der hedder enten "slange fra tapventil til tank" eller "slange fra tapventil til gulv", er dette ligeledes en mulighed for at skabe forbindelsen mellem vandværksvand og regnvand. "Slange fra tapventil til gulv" henvises med bogstavet "B" til en tidligere beskrivelse. "Slange fra tapventil til tank" – forbindelsen er allerede skabt.

Sker der en opstuvning af regnvand i kælder som når samme niveau, som den laveste kote i forbindelse med kortslutningen (gælder både luftgab og tapventil), er der en direkte forbindelse mellem vandværksledningen og regnvandet, såfremt trykket går af det offentlige vandforsyningsnet, og at der er manglende magnetventil funktion samt defekte kontraventiler og rørafbryder.

Rensning af tank med hjælp af slange Det er også en mulighed, at der er påført en slange på enden af vandforsyningsledningen eller ved tapventilen f.eks. i forbindelse med rensning af tanken, som ikke er blevet afmonteret igen. Dette bevirker, at slangen enten hænger nede i tanken eller hænger løst i kælderen. Sker der opstuvning til slange, er der igen en forbindelse.

Dette er beskrivelse af fejltræet, der beskriver alle mulige fejlkombinationer, der fører til den uønskede hændelse regnvand i den offentlige vandforsyning for det anbefalede regnvandsanlæg af Teknologisk Institut, Rørcentret.

Tryk større i lokalt genbrugssystem end i den offentlige vandforsyning I rapporten "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse" blev en af de farligste projekteringsfejl/udførelsesfejl identificeret til at være en studs på regnvandssystemet. Dermed opstår der muligheder for at indføre en ekstra gren på fejltræet, der omhandler situationer, hvor der er et større tryk i det lokale genbrugssystem end i det offentlige vandforsyningsnet. Dette forudsætter, at der etableres en forbindelse nedstrøms pumpen i det lokale genbrugssystem mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. Dette er et tilfælde, som ligeledes skal behandles under kvantificeringen.

De farligste fejlkombinationer

For at opsummere, hvilke fejlkombinationer, der kvantificeres i forbindelse med den uønskede hændelse af regnvand i den offentlige vandforsyning, fremhæves følgende:

- ❑ Den farligste fejlkombination, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning kvantificeres.
- ❑ Den farligste fejlkombination, hvor trykket i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning kvantificeres.

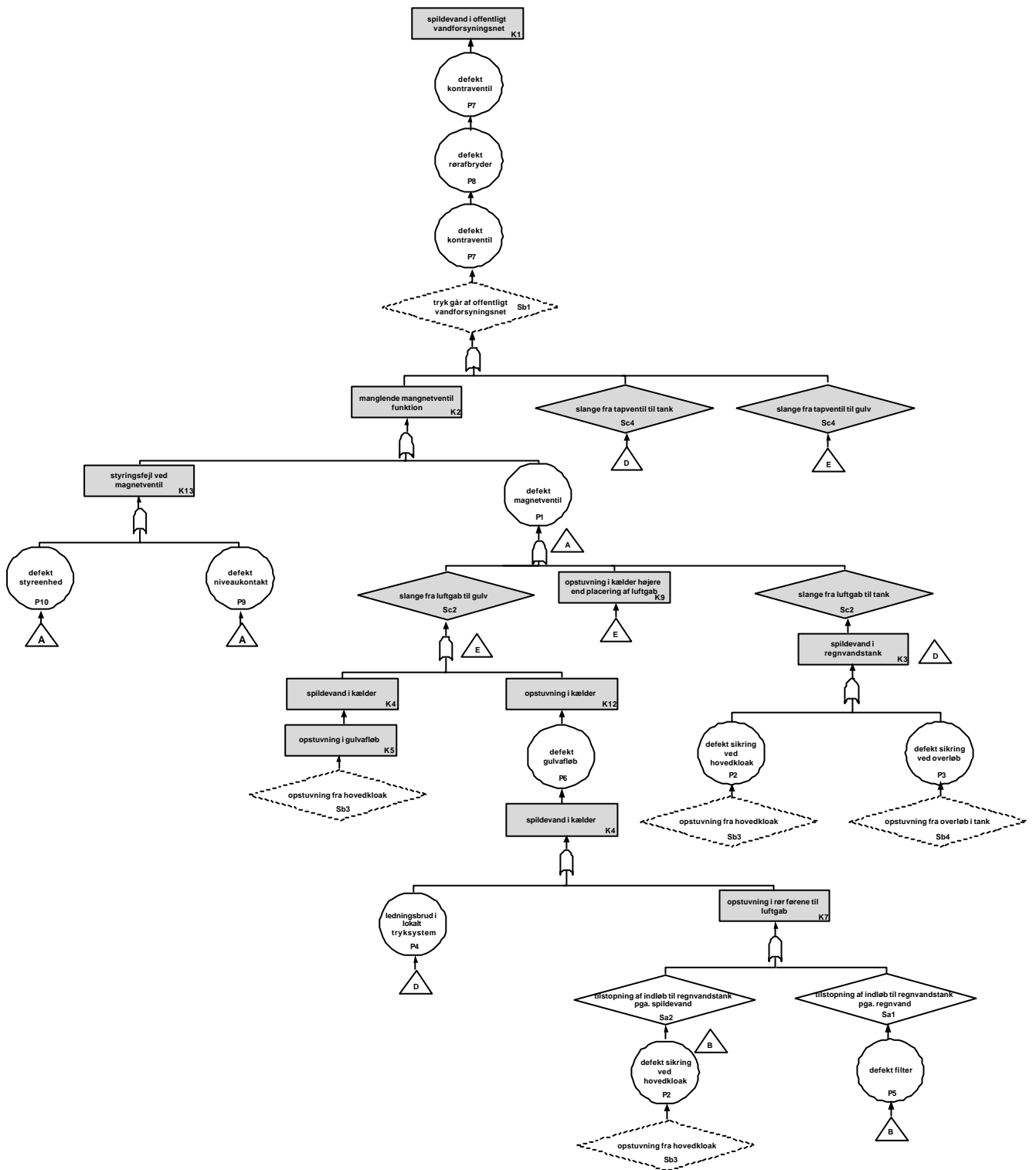
For en nærmere beskrivelse af de mulige fejlforbindelser henvises til beskrivelse i Kapitel 3 "Regnvandsanlæg".

7.2 Spildevand i den offentlige vandforsyning

Spildevand i den offentlige vandforsyning

Den anden af de to uønskede hændelser, der behandles i den kvantitative risikoanalyse af et regnvandsanlæg, er spildevand i den offentlige vandforsyning. På figur 7.2 ses det opstillede fejltræ for denne uønskede konsekvens. Fejltræet er hentet fra rapporten "Vurdering af hygiejniske risici

ved håndtering af urent vand i huse” og dækker alle måder, hvorpå spildevand fra et regnvandsanlæg opbygget principielt efter Teknologisk Institut, Rørcentret’s anvisning 003, kan komme i forbindelse med det offentlige vandforsyningsnet. Det skal bemærkes, at nogle af de beskrevne fejlmuligheder forudsætter, at der er foretaget ulovlige eller fejlagtige kortslutninger (også benævnt en sekundær betjeningsfejl).



Figur 7.2: Fejl træ – spildevand i det offentlige vandforsyningsnet. Fejl træet beskriver alle tænkelige muligheder for, at spildevand kan trænge ind i det offentlige vandforsyningsnet i forbindelse med etablering og drift af det anbefalede regnvandsanlæg.

<i>Hovedkonsekvens</i>	<p>Øverst i fejltræet er placeret hovedkonsekvensen "spildevand i offentligt vandforsyningsnet" forårsaget af et regnvandsanlæg. Dernæst er "defekt kontraventil", "defekt rørabryder" og igen "defekt kontraventil" angivet. Den første kontraventil er den på stikledningen til den enkelte husstand.</p> <p>Tilbagestrømningssikringen er ligeledes placeret på stikledningen. Den næste kontraventil er enten den, der sidder i forbindelse med vandmåleren, der måler vandforbruget til efterfyldningen i tanken, eller den kontraventil, der er placeret før tapventilen. Derefter følger "tryk gå af offentligt vandforsyningsnet".</p> <p>Fejltræet opdeles derefter i tre grene "manglende magnetventil funktion", "slange fra tapventil til tank" og "slange fra tapventil til gulv".</p>
<i>Manglende magnetventil funktion</i>	<p>Forfølges først grenen "manglende magnetventil funktion", kan denne opdeles i "defekt magnetventil" og "styringsfejl ved magnetventil". Under "styringsfejl ved magnetventil" opdeles træet igen i to grene, hvor den ene er "defekt styreenhed" og den anden er "defekt niveauelement". Enten kan niveauelementet være defekt og sender dermed et forkert signal til den automatiske styreenhed, hvormed magnetventilen aktiveres forkert. Eller også kan den automatiske styreenhed være defekt og dermed sender et forkert signal til magnetventilen. Fejltræet under henholdsvis "defekt magnetventil", "defekt styreenhed" og "defekt niveauelement" er identiske. Derfor gennemgås kun den ene, hvilket er symboliseret med bogstavet "A".</p> <p>For at hovedkonsekvensen skal opstå er det nødvendigt, at der enten sker en kortslutning af luftgab enten via "slange fra luftgab til gulv" eller via "slange fra luftgab til tank" eller, at der sker "opstuvning i kælder højere end placering af luftgab".</p>
<i>Slange fra luftgab til gulv</i>	<p>Først forfølges "slange fra luftgab til gulv". Fejltræet opdeles i to grene – "opstuvning i kælder" og "spildevand i kælder".</p>
<i>Opstuvning i kælder</i>	<p>Den første gren hedder "opstuvning i kælder". En forudsætning for dette er, at gulvafløbet er defekt, og at der ledes spildevand ud i kælderen.</p> <p>Spildevand ud i kælderen kan ske på to måder: den første måde er ved et ledningsbrud på et af de rør, der burde føre regnvand i det lokale system. Hvis der er kommet spildevand i regnvandstanken, fører disse rør ligeledes spildevand (henvises til bogstavet D), den anden måde er, at der sker "opstuvning i rør førende til luftgab fra regnvandstank". For at dette skal ske, er det nødvendigt, at der sker en tilstopning af indløbet til regnvandstanken. Denne tilstopning kan være forårsaget af spildevand eller af regnvand. For at denne tilstopning skal være forårsaget af spildevand, er det en forudsætning, at sikringen ved hovedkloakken er defekt og, at der samtidig er opstuvning i kloakken. Forårsages tilstopningen af regnvand kan dette skyldes et defekt filter på nedløbsrøret, således at de store partikler i regnvandet ikke bliver fraseret. Dette er mere eller mindre sandsynligt afhængig af, hvilket type filter, der benyttes i regnvandsanlægget. Bogstavet "B" henviser til, at der samtidig skal ske indtrængning af spildevand fra hovedkloakken.</p>
<i>Spildevand i kælder</i>	<p>Den anden gren hedder "spildevand i kælder" og forårsages af et defekt gulvafløb og opstuvning i kloakken.</p>

Forfølges nu "slange fra luftgab til tank", er det en forudsætning, at der er trængt spildevand ind i regnvandstanken symboliseret ved bogstavet "D". Dette kan enten ske ved, at der er en defekt sikring ved hovedkloakken eller en defekt sikring ved overløbet samtidig med, at der sker opstuvning i kloakken.

Opstuvning højere end placering af luftgab

Betragtes nu konsekvensen "opstuvning i kælder højere end placering af luftgab" henvises ved bogstavet "E" til forklaringen ovenover omhandlende "spildevand i kælder" og "opstuvning i kælder". Sker der en opstuvning af spildevand i kælder som når samme niveau, som placeringen af luftgab, er der en direkte forbindelse mellem vandværksledningen og spildevandet, såfremt trykket går af det offentlige vandforsyningsnet, og der er manglende magnetventil funktion samt defekte kontraventiler og defekt rørafbryder. Det er også en mulighed, at der er påført en slange på enden af vandforsyningsledningen f.eks. i forbindelse med rensning af tanken, som ikke er blevet afmonteret igen. Dette bevirker, at slangen enten hænger nede i tanken eller hænger løst i kælderen. Sker der opstuvning til slange, er der igen en forbindelse.

Kortslutning via tapventil

De sidste grene, der mangler at blive gennemgået, er "slange fra tapventil til tank" og "slange fra tapventil til gulv". Der henvises til henholdsvis bogstavet "D" og "E", som kan lokaliseres et andet sted i fejltræet. Derfor kommenteres denne ikke yderligere.

Det skal atter bemærkes, at i rapporten "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse" blev en af de farligste projekteringsfejl/udførelsesfejl identificeret til at være en studs på regnvandssystemet. Dermed opstår der muligheder for at indføre en ekstra gren på fejltræet, der omhandler situationer, hvor der er et større tryk i det lokale genbrugssystem end i det offentlige vandforsyningsnet. Dette forudsætter, at der etableres en forbindelse nedstrøms pumpen i det lokale genbrugssystem mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen.

De farligste fejkombinationer

For at opsummere, hvilke fejkombinationer, der kvantificeres i forbindelse med den uønskede hændelse spildevand i den offentlige vandforsyning, fremhæves følgende:

- ❑ Den farligste fejkombination, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning kvantificeres.
- ❑ Den farligste fejkombination, hvor trykket i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning kvantificeres.

For en nærmere beskrivelse af de mulige fejlforbindelser henvises til beskrivelse i Kapitel 3 "Regnvandsanlæg".

7.3 Bearbejdning af data

Det er, som nævnt tidligere i rapporten, valgt at benytte fejltræsmetoden til den kvantitative risikoanalyse i denne rapport. For at beregne sandsynligheden for en udvalgt fejkombination, der medfører en given uønsket konsekvens, er det nødvendigt at angive sandsynligheden/fejlhyppigheden for hver enkelt komponent, der indgår i den udvalgte fejkombination.

Tidligere i rapporten er de to uønskede hændelser, der undersøges i denne rapport, i forbindelse med drift og vedligeholdelse af et regnvandsanlæg angivet. Disse er følgende:

- Regnvand i den offentlige vandforsyning
- Spildevand i den offentlige vandforsyning

Det er ligeledes beskrevet tidligere, at det må understreges, at det allerede fra starten må forudsiges, at der vil være fejl, som ikke kan kvantificeres på simpel vis. Måden fejltræerne er opbygget på med OG/ELLER forbindelsesled bevirker, at så længe den farligste fejkombination er kvantificeret, vil de resterende fejkombinationer, der fører til den uønskede konsekvens i hvert fejltræ ikke påvirke den samlede sandsynlighed for den uønskede hændelse væsentligt, da den oftest vil være flere størrelsesordener mindre. Derfor er det valgt kun at kvantificere de farligste fejkombinationer, der medfører henholdsvis regnvand i den offentlige vandforsyning og spildevand i den offentlige vandforsyning.

Dette betyder, at en del af de komponenter, der er fundet data for ikke skal benyttes til kvantificering og dermed til beregningen af sandsynligheden for de uønskede hændelser.

I det følgende beskrives hvilke komponenter, der indgår i de udvalgte fejkombinationer.

7.3.1 Regnvand i den offentlige vandforsyning

Ved denne uønskede hændelse kvantificeres to hændelser:

- Den farligste fejkombination, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning kvantificeres.
- Den farligste fejkombination, hvor trykket i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning kvantificeres.

Tryk går af den offentlige vandforsyning Farligste fejkombination, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning består af følgende komponentfejl/fejlforbindelser:

- Regnvand i den offentlige vandforsyning (hovedkonsekvensen)
- Defekt kontraventil
- Defekt tilbagestrømningssikring (rørafbryder)
- Defekt kontraventil
- Tryk går af den offentlige vandforsyning
- Slange fra tapventil til tank – mulige fejlforbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen

Dette er den farligste fejkombination lokaliseret i den kvalitative risikoanalyse, når hovedkonsekvensen er regnvand i den offentlige vandforsyning med den forudsætning, at trykket går af den offentlige vandforsyning. Afhængig af, hvor fejlforbindelsen mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen etableres, vil enkelte af komponentfejlene bortfalde. Desuden er det valgt at betragte denne fejkombination på to måder; hvor tilbagestrømningssikringen medtages i beregningerne, og hvor den ikke medtages.

Tryk i lokalt genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning Farligste fejkombination, hvor trykket i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning består af følgende komponentfejl/fejlforbindelser:

- Regnvand i den offentlige vandforsyning (hovedkonsekvensen)
- Defekt kontraventil
- Defekt tilbagestrømningssikring (rørafbryder)

- Defekt kontraventil
- Tryk er større i lokalt genbrugssystem end i den offentlige vandforsyning
- Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen

Dette er den farligste fejkombination lokaliseret i den kvalitative risikoanalyse med hovedkonsekvensen regnvand i den offentlige vandforsyning under forudsætning af, at trykket i det lokale system er større end trykket i den offentlige vandforsyning. Afhængig af, hvor fejlforbindelsen mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen etableres, vil enkelte af komponentfejlene bortfalde. Desuden er det ligeledes valgt at betragte denne fejkombination på to måder; hvor tilbagestrømningssikringen medtages i beregningerne, og hvor den ikke medtages. Forklaringen på dette er givet ovenover.

7.3.2 Spildevand i den offentlige vandforsyning

Ved denne uønskede hændelse kvantificeres ligeledes to hændelser:

- Den farligste fejkombination, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning kvantificeres.
- Den farligste fejkombination, hvor trykket i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning kvantificeres.

Tryk går af den offentlige vandforsyning Farligste fejkombination, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning består af følgende komponentfejl/fejlforbindelser:

- Spildevand i den offentlige vandforsyning (hovedkonsekvensen)
- Defekt kontraventil
- Defekt tilbagestrømningssikring (rørafbryder)
- Defekt kontraventil
- Tryk går af den offentlige vandforsyning
- Slange fra tapventil til tank – mulige fejlforbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen
- Defekt sikring ved enten hovedkloak eller overløb fra regnvandstank
- Opstuvning fra kloak

Dette er den farligste fejkombination lokaliseret i den kvalitative risikoanalyse, når hovedkonsekvensen er spildevand i den offentlige vandforsyning under den forudsætning, at trykket går af den offentlige vandforsyning. Afhængig af, hvor fejlforbindelsen mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen etableres, vil enkelte af komponentfejlene atter bortfalde. Det er desuden valgt at betragte denne fejkombination på forskellige måder alt afhængig af, om der er installeret en tilbagestrømningssikring eller ej, og om der som sikring mod tilbagestuvning fra kloakken er installeret en pumpebrønd eller ej. Forklaringen vedrørende tilbagestrømningssikringen er fremlagt tidligere i rapporten. Vedrørende sikring mod tilbagestuvning afhænger valget af hvilken sikring, der vælges, og om det er muligt at fastsætte den højeste opstuvningskote. Hvis alle installationsgenstande er placeret over højeste opstuvningskote, er en nedløbsbrønd nok, hvis dette ikke er tilfældet, skal en pumpebrønd benyttes.

Tryk i lokalt genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning Farligste fejkombination, hvor trykket i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning består af følgende komponentfejl/fejlforbindelser:

- Spildevand i den offentlige vandforsyning (hovedkonsekvensen)

- Defekt kontraventil
- Defekt tilbagestrømningssikring (rørafbryder)
- Defekt kontraventil
- Tryk er større i lokalt genbrugssystem end i den offentlige vandforsyning
- Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen
- Defekt sikring ved enten hovedkloak eller overløb fra regnvandstank
- Opstuvning fra kloak

Dette er den farligste fejkombination lokaliseret i den kvalitative risikoanalyse, når hovedkonsekvensen er spildevand i den offentlige vandforsyning under den forudsætning, at tryk i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning. Afhængig af, hvor fejlforbindelsen mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen etableres, vil enkelte af komponentfejlene atter bortfalde. Det er desuden valgt at betragte denne fejkombination på forskellige måder alt afhængig af, om der er installeret en tilbagestrømningssikring eller ej, og om der som sikring mod tilbagestuvning fra kloakken er installeret en pumpebrønd eller ej. Forklaringen på denne opdeling er gengivet tidligere.

7.3.3 Benyttede sandsynligheder for komponenter, der skal kvantificeres

I dette underafsnit fremlægges de komponenter med tilhørende sandsynligheder, som indgår i de tidligere beskrevne farligste fejkombinationer.

Fejl, der indgår i de farligste fejkombinationer

Følgende komponenter indgår i kvantificeringen af de farligste fejkombinationer:

- Kontraventil
- Tilbagestrømningssikring (rørafbryder)
- Tryk går af den offentlige vandforsyning
- Tryk i lokalt genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning
- Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen
- Defekt sikring ved enten hovedkloak eller overløb fra regnvandstank
- Opstuvning fra kloak

I kapitel 6 blev de tilgængelige data beskrevet, hvorunder fastsættelse af sandsynligheder for primære og sekundære fejl. Der er en del af de kvantificerede komponenter, der ikke indgår i de farligste fejkombinationer, og derfor benyttes disse fundne sandsynligheder ikke. Dette skyldes konceptet, at så længe den farligste fejkombination er kvantificeret, er fejlhyppigheden for den uønskede hændelse bestemt. Alle andre fejkombinationer, der er indeholdt i fejltræet, vil som hovedregel være flere størrelsesordener mindre.

Kontraventil

kontraventil

Den fastsatte sandsynlighed for, at en tilfældig kontraventil, et tilfældigt sted og på et tilfældigt tidspunkt ikke virker ved aktivering er 0,002.

Tilbagestrømningssikring

Tilbagestrømningssikring

Data vedrørende tilbagestrømningssikring behandles, således at sandsynligheden enten er 1 eller 0. Hvis der er installeret en tilbagestrømningssikring er sandsynligheden for defekt 0. Til gengæld forefindes der ikke et anlæg i Danmark, der på nuværende tidspunkt er udstyret med en tilbagestrømningssikring, og derfor anses det for at være en

oplagt risiko, at denne komponent aldrig bliver installeret i forbindelse med etablering af regnvandsanlæg, og sandsynligheden kan således også antage værdien 1.

Dette er umiddelbart den bedste måde hvorpå det er muligt at kvantificere en tilbagestrømningssikring. Både Honeywell og Danfoss mener, at risikoen for tilbagesug gennem tilbagestrømningssikringen er meget tæt på 0, og da det ikke har været muligt at fremkomme med et konkret tal for fejlraten på baggrund af erfaringer, er det valgt at benytte producenternes vurdering og sætte sandsynligheden lig 0.

Tryk går af den offentlige vandforsyning

Tryk går af den offentlige vandforsyning

Hyppigheden for at trykket går af vandforsyningsnettet er fastlagt ud fra data modtaget fra Århus Kommune Værker. Hyppigheden for, at trykket går af vandforsyningsnettet et tilfældigt sted, er 0,037 per år, og trykket er i gennemsnit gået af i 3 timer.

Tryk i lokalt genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning

Tryk i lokalt genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning

Eftersom de fleste pumper, der bliver solgt til regnvandsanlæg kan leverer en trykhøjde, der er højere end trykket i vandforsyningsnettet, vil dette ofte være tilfældet. Hvis pumpen kun kan levere en trykhøjde i samme niveau som vandforsyningsnettet, kan det variere hen over dagen om trykket er højere afhængig af trykket i det aktuelle vandforsyningssystem. Det er ikke muligt, at kvantificere denne sandsynlighed, men eftersom størstedelen af pumperne i regnvandsanlæg kan levere en højere trykhøjde skønnes sandsynligheden for dette til 1.

Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen

Fejlforbindelse

Ved kvantificering af sandsynlighed for fejlforbindelser, er der ikke umiddelbart skelnet mellem hvilke typer af fejlforbindelser, der foretages. I kapitel 3 er der beskrevet 5 forskellige typer af fejlforbindelser og alle disse kvantificeres umiddelbart under et.

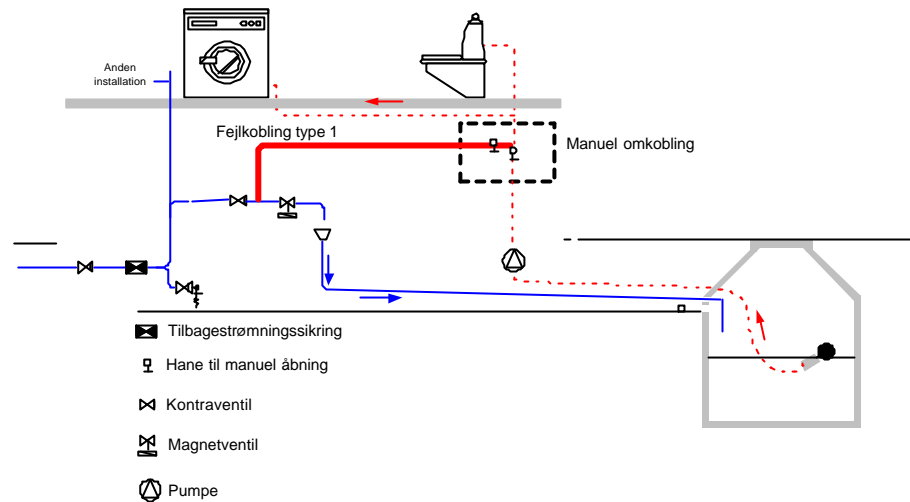
Skønnet sandsynlighed for fejlforbindelse

Fra kapitel 6 haves, at sandsynligheden for at foretage fejlforbindelser er ca. 6 %. Sandsynligheden for, at der er fejl ved det frie luftgab, som ligeledes fortolkes som en fejlforbindelse, er 6 %. Derfor er det skønnet, at sandsynligheden for generelle fejlforbindelse er ca. 6 %. Dette er selvfølgelig et skøn, som kan optimeres, når der i løbet af de næste år indsamles flere erfaringer vedrørende drift og vedligeholdelse af regnvandsanlæg. Erfaringer viser, at nye anlæg er mere sikre, og at antallet af fejkoblinger er mindre for disse.

Fejlforbindelsen skal aktiveres

Den bestemte sandsynlighed for fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er en sandsynlighed, der beskriver selve fejlforbindelsen, men ikke om denne forbindelse er aktiveret. På figur 7.3 ses et eksempel på en fejlforbindelse (beskrevet i kapitel 3 som fejlforbindelse 1) mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. I den stiplede boks er der placeret to manuelle haner, hvor der er mulighed for at koble regnvandsgenbrugssystemet fra og i stedet benytte drikkevand til wc-skyll og tøjvask. Åbnes for den ene hane (hanen på drikkevandsledningen) og lukkes for den anden hane (hanen på regnvandssystemet), aktiveres fejlforbindelsen. Faren ved dette er, at der glemmes at lukke for hanen på regnvandssystemet og kun åbnes for hanen på drikkevandsledningen. Dette er en oplagt risiko, fordi hvis der kobles om fra regnvandssystemet til drikkevand, skyldes dette, at der er en eller anden fejl i regnvandssystemet, der bevirker, at der ikke kan

pumpes regnvand op til toilettet og vaskemaskinen. Derfor vil det ikke umiddelbart blive opdaget, at hanen ikke er lukket. Når fejlen i regnvandssystemet er rettet, og der atter pumpes regnvand rundt i systemet, glemmes det, at der er åbnet for hanen på drikkevandsledningen og dermed opstår muligheden for at få pumpet regnvand ud i drikkevandsledninger afhængig af trykket i drikkevandsledningerne.



Figur 7.3: Eksempel på fejlforbindelse. I den stiplede boks er to manuelle haner, hvor der er mulighed for at aktivere fejlforbindelsen.

Defekt sikring

Defekt sikring ved enten hovedkloak eller overløb fra regnvandstank

Ved kvantificering af sikring ved overløb opstår der en situation, hvor sandsynligheden er enten 0,5 eller 0. I det tilfælde, hvor der er installeret en pumpebrønd, sættes sandsynligheden til 0, da denne anses for at være 100 % sikker mod tilbagestuvning. Overløbsvandet pumpes over i kloakken samtidig med, at der er en sløjfe over terrænen. Hvis der ikke installeres en pumpebrønd, så er det vigtigt, at drikkevandstilførsel sker over højeste opstuvningskote kendes. Tyske erfaringer har vist, at i 50% af anlæggene var tilførsel placeret under højeste opstuvningskote. Derfor sættes sandsynligheden for dette til 0,50.

Opstuvning i kloak

Opstuvning fra kloak

Sandsynligheden for opstuvning i kloak vil variere meget fra sted til sted. På baggrund af data om oversvømmelseskader fra forsikringselskaberne, er sandsynligheden for vand i kælder 0,01 per år. Dimensioneringsgrundlaget for afløbssystemer varierer fra by til by, men generelt kan følgende benyttes: der må være fuldtløbende rør ca. hvert andet år. Dette betyder dog ikke, at der er vand i kælder. Det er derfor valgt at benytte sandsynligheden 0,01 per år.

7.4 Beregning af de farligste fejlkombinationer

I det forrige afsnit blev beskrevet de farligste fejlkombinationer for de uønskede hændelser regnvand i den offentlige vandforsyning og spildevand i den offentlige vandforsyning. Desuden blev de fundne sandsynligheder for de aktuelle komponenter og fejl oplyst. I dette underafsnit beregnes den samlede sandsynlighed for hver fejlkombination. Resultatet beskrives som en fejlfrekvens, og dermed fås antallet af hændelser pr. år for at få henholdsvis regnvand eller spildevand i den offentlige vandforsyning. Først betragtes beregningerne for den uønskede hændelse - regnvand i den offentlige vandforsyning, dernæst spildevand i den offentlige vandforsyning.

7.4.1 Regnvand i den offentlige vandforsyning

Tryk går af den offentlige vandforsyning Den farligste fejkombination, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning består af følgende komponentfejl/fejlforbindelser:

- Regnvand i den offentlige vandforsyning
- Defekt kontraventil
- Defekt tilbagestrømningssikring
- Defekt kontraventil
- Tryk går af den offentlige vandforsyning
- Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen

Hvis sandsynlighederne for de enkelte fejl direkte indsættes, beregnes en sandsynlighed uden at medtage tidsaspektet. Tidsaspektet indføres i forbindelse med kontraventilerne og fejlforbindelsen mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. Sandsynligheden for fejl for en kontraventil er fastlagt under forudsætning af, at denne aktiveres. Den kan kun aktiveres, hvis der er et modsatrettet flow. Et modsatrettet flow er forårsaget af en fejlforbindelse, hvor regnvandspumpen pumper regnvand ud i drikkevandsledningerne og dermed aktiverer kontraventilerne, og ved at trykket går af nettet. Problemet er nu at bestemme, hvor ofte denne aktivering finder sted, altså hvor ofte aktiveres fejlforbindelsen. For at fejlforbindelsen skal aktiveres, skal pumpen ikke fungere eller sugefilteret i regnvandstanken skal være tilstoppet m.v.. Derfor benyttes som udgangspunkt sandsynligheden for elafbrydelse, da dette vil bevirke, at regnvandspumpen ikke fungerer og en bruger vil derfor være tilbøjelig til at tilkoble fejlforbindelsen for at kunne få vand til toiletter. Desuden vil kontraventilen aktiveres når trykket går af nettet - det er fundet til at ske 0,037 gange pr. år eller 0,7 gange pr. år, hvis det sker ved enhver elafbrydelse.

Elafbrydelse i en tilfældig husstand sker i gennemsnit 0,7 gange pr. år. Naturligvis vil aktiveringen af den anden kontraventil ikke ske så ofte, men da det ikke er muligt at bestemme, hvor ofte den så vil aktiveres benyttes den samme hyppighed. I øvrigt er det ikke medtaget, at der ifølge producenten som vedligeholdelse bør ske en aktivering af kontraventilen en gang om året.

Under ovenstående forudsætninger samt, at der ikke er installeret en tilbagestrømningssikring, opnås følgende regnestykke:

Den samlede fejlhyppighed (f) for den farligste fejkombination

$$\begin{aligned} f &= 0,002 \text{ /aktivering (kontraventil)} \\ &\quad * 1 \text{ (tilbagestrømningssikring)} \\ &\quad * 0,002 \text{ / aktivering (kontraventil)} \\ &\quad * 0,037 \text{ / år (trykket går af nettet)} \\ &\quad * 3/(365*24) \text{ år (tiden trykket går af nettet)} \\ &\quad * 0,06 \text{ (fejlforbindelse)} \\ &\quad * (0,7 \text{ aktivering/år} + 0,037 \text{ /år}) \text{ (elafbrydelse + trykket går af nettet)} \\ &= 2 * 10^{-12} \text{ pr. år} \end{aligned}$$

Som det fremgår fører denne fejkombination til en ekstremt lille fejlhyppighed, der ikke behøver mere uddybning. Faktoren "3/(365*24)" svarer til tiden trykket går af vandforsyningsnettet udtrykt i år ("down-time").

Det bemærkes, at afhængig af hvor denne fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen etableres, kan en eller flere af de ovenstående

komponentfejl undlades. Hvis fejlforbindelse svarer til den beskrevne fejlforbindelse, type 4 i kapitel 3, reduceres fejlkombinationen til følgende:

- Regnvand i den offentlige vandforsyning
- Tryk går af den offentlige vandforsyning
- Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen

Den samlede fejlhyppighed beregnes nu til følgende:

$$f = 0,037 * 3/(365*24) * 0,06 * (0,7 + 0,037) = 6 * 10^{-7} \text{ pr. år}$$

Dette tal er dog lidt højt sat, da det er sjældent, at en fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen by-pass'er både tilbagestrømningssikringen samt to kontraventiler. Vores erfaringsmateriale har kun identificeret en fejlforbindelse af denne type.

Tryk i lokalt genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning

Den farligste fejlkombination, hvis trykket i det lokale genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning består af følgende komponentfejl/fejlforbindelser:

- Regnvand i den offentlige vandforsyning
- Defekt kontraventil
- Defekt tilbagestrømningssikring (rørafbryder)
- Defekt kontraventil
- Tryk er større i lokalt genbrugssystem end i den offentlige vandforsyning
- Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen

Fejlhyppigheden for denne fejlkombination, under forudsætning af, at der ikke er installeret en tilbagestrømningssikring samt at trykket i det lokale genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning er følgende:

$$f = 0,002 * 1 * 0,002 * 1 * 0,06 * (0,7 + 0,037) = 2 * 10^{-7} \text{ pr. år}$$

Hvis det forudsættes, at fejlforbindelsen by-pass'er de to kontraventiler samt en eventuel tilbagestrømningssikring bliver fejlhyppigheden følgende:

$$f = 1 * 0,06 * (0,7 + 0,037) = 4 * 10^{-2} \text{ pr. år}$$

Dette svarer til, at hvis der er 100 anlæg i en by, så vil der ske forurening fra 4 anlæg én gang om året. Det, der er vigtigt at lægge mærke til, er, at den angivne sandsynlighed for etablering af en fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen er sat for højt i den før beskrevne fejlkombination. Til gengæld er de (0,7 + 0,037) (elafbrydelse + trykket går af nettet) nok sat for lavt, da der er andre faktorer, der kan bevirke, at fejlforbindelsen aktiveres.

Som det fremgår, er der altså et meget stort spænd, som primært er bestemt ved, hvor en eventuel fejlforbindelse etableres og hvor stor sandsynligheden for denne etablering er. Det skal stadigvæk huskes, at dette kun er fejlhyppigheden for den uønskede hændelse regnvand i den offentlige vandforsyning. I næste kapitel fokuseres på konsekvensen og dermed kan risikoen beregnes og vurderes.

7.4.2 Spildevand i den offentlige vandforsyning

Tryk går af den offentlige vandforsyning Den farligste fejlkombination, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning består af følgende komponentfejl/fejlforbindelser:

- Spildevand i den offentlige vandforsyning (hovedkonsekvensen)
- Defekt kontraventil
- Defekt tilbagestrømningssikring (rørafbryder)
- Defekt kontraventil
- Tryk går af den offentlige vandforsyning
- Slange fra tapventil til tank – mulige fejlforbindelser mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen
- Defekt sikring ved enten hovedkloak eller overløb fra regnvandstank
- Opstuvning fra kloak

Under forudsætning af, at der er installeret en tilbagestrømningssikring, bliver sandsynligheden for denne fejlkombination følgende:

$$f = 0,002 * 1 * 0,002 * 0,037 * 3/(365*24) * 0,06 * 0,50 * 0,01 * 3/365 * (0,7 + 0,037) = 1 * 10^{-16} \text{ pr. år}$$

Det skønnes, at det vil gå 3 dage inden en tank, som er forurenede med spildevand, vil blive rensede. Derfor ganges faktoren "3/365" på hyppigheden for opstuvning (down-time). Hændeshyppigheden er så lille, at yderligere kommentarer ikke er nødvendige.

Betragtes igen situationen, hvor fejlforbindelsen by-pass'er de to kontraventiler og tilbagestrømningssikringen opnås følgende resultat:

$$f = 0,037 * 3/(365*24) * 0,06 * 0,50 * 0,01 * 3/365 * (0,7 + 0,037) = 2 * 10^{-10} \text{ pr. år}$$

Tryk i genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning Den farligste fejlkombination, hvor trykket i det lokale system er større end i den offentlige vandforsyning består af følgende komponentfejl/fejlforbindelser:

- Spildevand i den offentlige vandforsyning (hovedkonsekvensen)
- Defekt kontraventil
- Defekt tilbagestrømningssikring (rørafbryder)
- Defekt kontraventil
- Tryk er større i lokalt genbrugssystem end i den offentlige vandforsyning
- Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen
- Defekt sikring ved enten hovedkloak eller overløb fra regnvandstank
- Opstuvning fra kloak

Fejlhyppigheden bestemmes til følgende:

$$f = 0,002 * 1 * 0,002 * 1 * 0,06 * 0,50 * 0,01 * 3/365 * (0,7 + 0,037) = 8 * 10^{-12} \text{ pr. år}$$

Betragtes igen situationen, hvor fejlforbindelsen by-pass'er de to kontraventiler og tilbagestrømningssikringen opnås følgende resultat:

$$f = 0,06 * 0,50 * 0,01 * 3/365 * (0,7 + 0,037) = 2 * 10^{-6} \text{ pr. år}$$

Dette svarer til, at der i en by med 1000 anlæg vil være 1 anlæg der hvert år forårsager forurening af vandforsyningen.

7.5 Vurdering af sandsynligheden

Hvordan vurderes om et anlæg er sikkert nok? Hvor stor en sandsynlighed/fejlhyppighed kan accepteres for, at regnvand eller spildevand kan trænge ind i et den offentlige vandforsyning?

*Stort spænd på
fejlhyppighederne*

For at kunne lave denne vurdering, er det som nævnt vigtigt at se på risikoen for hændelsen, det vil sige, se på fejlhyppigheden for en uønsket hændelse og konsekvensen af denne hændelse i sammenhæng. I det ovenstående er der udregnet fejlhyppigheder for forskellige kombinationer af fejl- en del af dem er meget små, helt ned til $5 \cdot 10^{-15}$ pr. år. Det er altså hændelser, der er ekstremt usandsynlige. Hvis en fejlforbindelse er placeret meget uhensigtsmæssigt kan fejlhyppigheden være helt op til $4 \cdot 10^{-2}$ pr. år. Det er et forholdsvis stort spænd af fejlhyppigheder. Det skal her huskes, at det ikke er muligt at konkludere noget om risikoen for forurening af den offentlige vandforsyning kun ud fra fejlhyppighederne for forurening. Risikoen er defineret som produktet mellem fejlhyppigheden og konsekvensen.

I næste kapitel vil der ses på konsekvensen af hændelserne: regnvand eller spildevand i det offentlige vandforsyningsnet, for derefter at vurdere risikoen.

8 Eksponering

I det følgende beskrives nogle teoretiske overvejelser, der er gjort angående modelberegningerne. Derefter beskrives hvilken vandforsyning, der er er udvalgt til modelberegninger, og til sidst præsenteres resultaterne som derefter diskuteres.

8.1 Teoretiske overvejelser for modelberegninger

Teoretiske overvejelser i forbindelse med modelberegningerne

I dette underafsnit beskrives, hvilke teoretiske overvejelser, der er foretaget i forbindelse med modelberegninger af hændelserne: trykket går af den offentlige vandforsyning eller tryk i det lokale genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning samtidig med, at en af de uønskede hændelser (regnvand eller spildevand i den offentlige vandforsyning) indtræder i et regnvandsanlæg.

Som defineret i afsnit 2 om risikoterminologi og metode er **risiko** defineret som produktet af sikkerhedsniveauet og konsekvensen, svarende til hyppigheden gange antallet af eksponerede personer.

Sikkerhedsniveauet er hyppigheden for fejl i anlæg og er blevet behandlet i detaljer i de forudgående afsnit. Sikkerhedsniveauet er altid udtrykt som fejl i et anlæg per tidsenhed.

Den **konsekvens** som en fejl medfører kan afgrænses på mange forskellige måder. I denne undersøgelse er konsekvensen et mål for omfanget af påvirkede personer på grundlag af en enkelt fejl - udtrykt i antal personer, der får urent vand i drikkevandsforsyning.

8.2 Symboler

Symboler benyttet ved den teoretiske gennemgang

Følgende symboler er benyttet ved den teoretiske gennemgang nedenfor.

a areal (for et enkelt forsyningsområde)

a_{tot} forsyningsområdets samlede areal

a_{tot} forsyningsområdet for en enkelt pumpestation/vandværk (indkredset/afgrænset af neutral-linien)

A areal (for flere forsyningsområder samlet)

A_{tot} forsyningsområdernes samlede areal

n antal (for et enkelt forsyningsområde)

n_{person} antal personer i forsyningsområdet

$n_{anlæg}$ antal regnvandsanlæg i forsyningsområdet

$n_{påvirket}$ antal påvirkede personer ved en fejl i et enkelt anlæg

N antal (for flere forsyningsområder samlet)

N_{person} antal personer i alt i alle forsyningsområderne

$N_{anlæg}$ antal regnvandsanlæg i alt i forsyningsområderne

tæthed (dvs. per areal enhed)

$$\begin{array}{l} ?_{\text{person}} \\ ?_{\text{anlæg}} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{persontæthed} \left(?_{\text{person}} = n_{\text{person}} / a_{\text{tot}}^* \right) \\ \text{anlægstæthed} \left(?_{\text{anlæg}} = n_{\text{anlæg}} / a_{\text{tot}}^* \right) \end{array}$$

? **brøkdelt** (eller procent angivelse)

$$\begin{array}{l} ?_{\text{ap}} \\ (?_{\text{ap}} = n_{\text{anlæg}} / n_{\text{person}} = ?_{\text{anlæg}} / ?_{\text{person}}) \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{antal regnvandsanlæg per person} \\ \end{array}$$

$g_{\text{påvirket}}$ strukturparameter for forsyningsnettet, som beskriver middel andelen af et område som udsættes for urent vand i vandforsyningen. For det idealiserede opland antages dette at være lig med $1/2$.

f **hyppighed** (antal per år)

$$\begin{array}{l} f_F \\ f_U \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{antal fejl i et enkelt anlæg per år} \\ \text{antal trykfald i et vilkårligt punkt i forsyningsnettet per år} \end{array}$$

r **risiko** (for et enkelt forsyningsområde)

$$\begin{array}{l} r_l \\ r_n \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{risiko i et område med et enkelt regnvands anlæg} \\ \text{risiko i et område med } n_{\text{anlæg}} \text{ regnvands anlæg} \end{array}$$

R **risiko** (for flere forsyningsområder samlet)

$$R \quad \text{risiko for flere forsyningsområder samlet}$$

8.3 Eksponering

Fejl i regnvandsanlæg

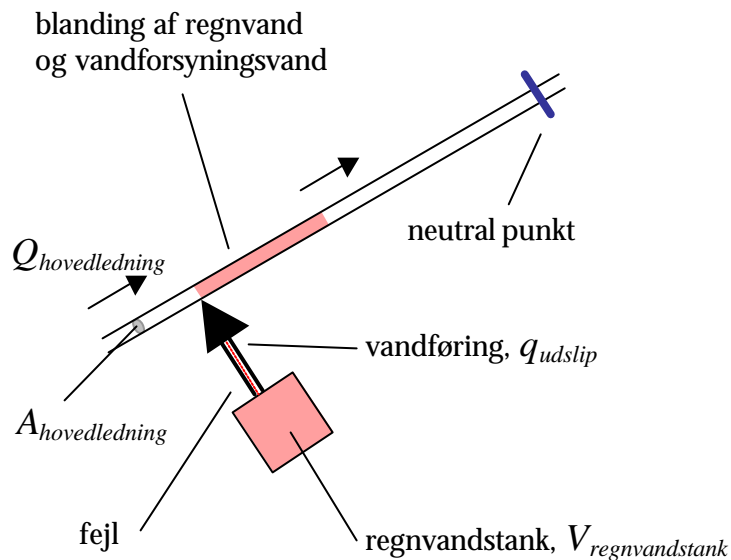
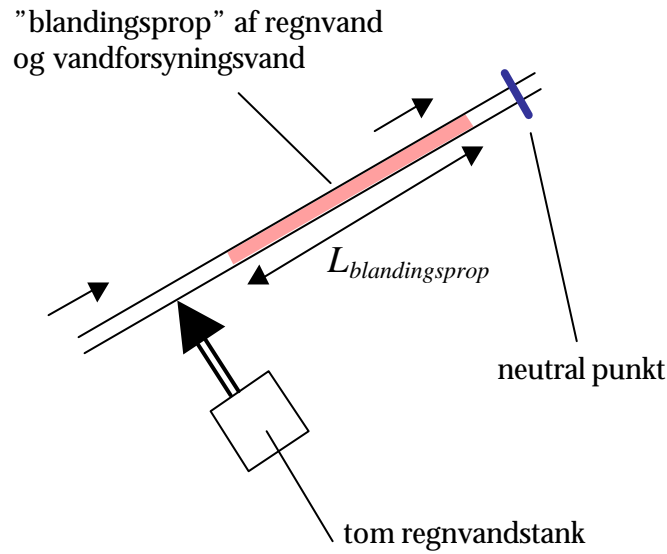
Et regnvandsanlæg placeres i et distributionsnet. Der betragtes en enkelt ledningsstrækning, hvorpå der sker en fejl i et regnvandsanlæg. Regnvand føres ud af anlægget og ind i forsyningsledningen med en vandføring på q [m^3/s], som afhænger af trykforskellen mellem forsyningsnettet og regnvandsanlægget samt dimensionerne af kobling mellem de to systemer. Antages det, at der ikke sker store ændringer i trykforholdene under et udslip vil denne vandføring være konstant, indtil der ikke er mere regnvand i regnvandsbeholderen.

Længden af udslipsperioden

Udslipsperioden kan udtrykkes som:

$$T_{\text{udslip}} = \frac{V_{\text{regnvandstank}}}{q_{\text{udslip}}}$$

hvor T_{udslip} er perioden, hvori der sker udslip,
 $V_{\text{regnvandstank}}$ er vandvolumenet i regnvandstanken,
 q_{udslip} er vandføringen ud af anlægget ind i den offentlige vandforsyning.



Figur 8.1: Udbredelsen af en "blandingsprop" fra fejl fra et regnvandsanlæg til forsyningsnettets neutral-punkt.

Forureningsprop

Som illustreret i figur 8.1 vil proppen af forurenat vand bevæge sig hen mod neutralpunktet. Ethvert punkt på ledningen mellem fejlen og neutralpunktet vil blive berørt af forureningen. Perioden for påvirkningen vil afhænge af proppens længde og den aktuelle lokale vandhastighed. Ved denne forenkede betragtning vil proppens længde umiddelbart efter udslippet kunne beregnes til:

$$L_{blandingsprop} = v_{hovedledning} \cdot T_{udslip} = \frac{Q_{hovedledning}}{A_{hovedledning}} \cdot \frac{V_{regnvandstank}}{q_{udslip}}$$

hvor $v_{hovedledning}$ er vandhastigheden i hovedledningen,
 $Q_{hovedledning}$ er vandføringen i hovedledningen,
 $A_{hovedledning}$ er hovedledningens tværsnitsareal.

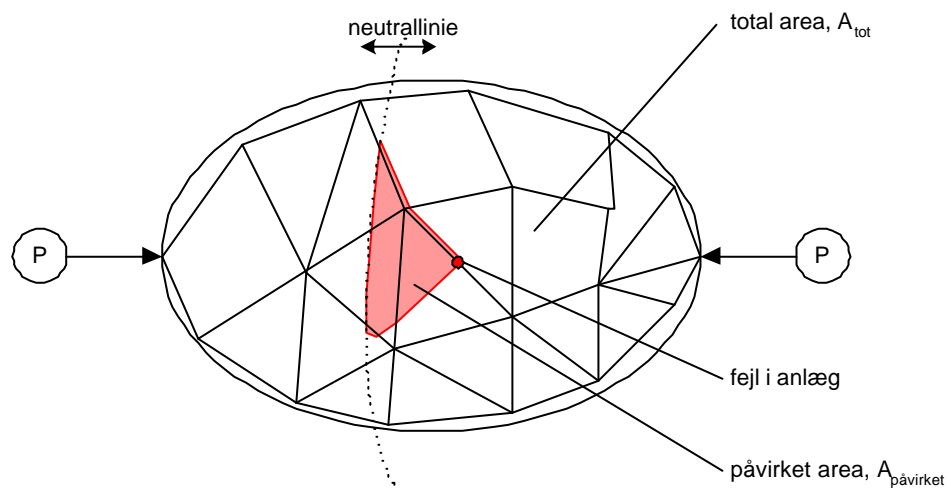
8.4 Risikoberegning for fejl i anlæg (uden at trykket går af nettet)

8.4.1 Udbredelse

Regnvandet spredes i forsyningsnettet fra fejlpunktet hen mod neutrallinien. Ethvert punkt der strømningsmæssigt ligger mellem fejlpunktet og neutrallinien vil i en periode få regnvand i vandforsyningen. Da fejlpunktet kan optræde et tilfældigt sted i systemet, vil det påvirkede areal, $a_{p\grave{a}virket}$, også variere meget. Det påvirkede areal skønnes i middel til at være lig med halvdelen af arealet på den pågældende side af neutrallinien.

$$a_{p\grave{a}virket} \approx g_{p\grave{a}virket} \cdot a_{tot}^*$$

hvor a_{tot}^* er arealet på det område, der er indkredset/afgrænset af neutrallinien.
 $g_{p\grave{a}virket}$ er struktur parameter for forsyningsnettet, som beskriver middel andelen af arealet som udsættes for urent vand i vandforsyningen. For det idealiserede opland antages dette at være lig med $\frac{1}{2}$.



Figur 8.2: Idealiseret forsyningsnet til illustration af spredning af regnvandet fra det fejlbeh\ddot{a}ftet anlæg til neutrallinien.

Antal personer, som er berørt, $n_{p\grave{a}virket}$, af en fejl i et tilfældigt anlæg, kan derfor skønnes til:

$$n_{p\grave{a}virket} \approx r_{person} \cdot a_{p\grave{a}virket} \approx r_{person} \cdot g_{p\grave{a}virket} \cdot a_{tot}^*$$

Hvor befolkningst\ddot{a}theden, r_{person} , er en parameter, som beskriver antal personer pr. arealenhed.

8.4.2 Risiko

I det følgende vurderes risikoen i forhold til samfundet som en helhed, den enkelte person og risikoens relation til forsyningsområdets størrelse.

Risikoen for samfundet

Risikoen beregnes som produktet af sikkerhedsniveauet gange konsekvensen. Risikoen fortæller altså i sig selv ikke noget om hvor mange personer, der er eksponeret af gangen, eller hvor ofte det sker. Risikoen er her et mål for hvad samfundet over længere tid må ofre ved at have anlæg med urent vand i tilknytning til den offentlige vandforsyning.

Eksemplet der her gennemgås er opstillet i tabel form i tabel 8.1. I tabellen fremlægges eksemplet med en forholdsvis lav fejlfrekvens. I tabellen vises yderligere risikoen for en fejlfald med en høj frekvens.

I hele dette afsnit benyttes "fejl" til at beskrive situationen, at der føres urent vand fra et anlæg ud i den offentlige vandforsyning. Betragtes et forsyningsområde på 5000 personer med et enkelt tilfældigt placeret regnvandsanlæg, som fejler 1×10^{-7} gang per år. Da ca. halvdelen af området eksponeres i middel ved en fejl fås risikoen til:

- 2500 eksponerede personer / 10000000 år
- eller
- 0.00025 eksponerede personer / år
- eller
- 1 eksponeret person / 4000 år

Det vil sige, at risikoen for forsyningsområdet som helhed ved dette ene anlæg er 0.00025 eksponeret personer per år. Hvilket svarer til at en person i gennemsnit over mange år bliver udsat for urent vand i drikkevandsforsyningen hvert 4000 år.

Betragtes det samme område som ovenfor men nu med 100 regnvandsanlæg der hver især har et sikkerhedsniveau på 1×10^{-7} fejl per år fås risikoen til:

- 2500 eksponerede personer / 100000 år
- eller
- 0.025 eksponerede personer / år
- eller
- 1 eksponeret person / 40 år

Eksponeringen er den samme, altså 2500 personer/fejl, men hyppigheden for fejlen er større svarende til antallet af anlæg. Hvilket svarer til, at en person i gennemsnit over mange år bliver udsat for urent vand i drikkevandsforsyningen hvert 40 år.

Er der tale om 1000 sådanne forsyningsområder med 100 anlæg hver fås en samlet eksponering til:

- 2500 eksponerede personer / 100 år
- eller
- 25 eksponerede personer / år
- eller

- 1 eksponeret person / 0.04 år
(svarende til 1 eksponeret person / 15. dag)

For de 1000 forsyningsområder med en samlet befolkning på 5 millioner (5000 personer x 1000 områder) er risikoen på 25 eksponeret personer per år svarende til en eksponeret person hver 15. dag. Dette fremkommer ved, at der i gennemsnit en gang hver 100 år vil ske en eksponering af 2500 personer et eller andet sted i de omtalte områder.

Risikoen for den enkelte borger

Det kan også være interessant at se på risikoen for den enkelte borger. Altså "tabet af værdi" for den enkelte borger, som udsættes for, at der er anlæg med urent vand i tilknytning til den offentlige vandforsyning. Da tabet for samfundet som helhed her deles af hele befolkningen fås risikoen for den enkelte borger, som den samlede risiko (omtalt ovenfor) divideret med befolkningstallet for det betragtede område. I eksemplet ovenfor med 100 anlæg i forsyningsområdet, antages der at være en befolkning på 5000 personer, og da bliver risikoen for den enkelte borger:

- (2500 eksponerede personer / 100000 år)/5000 personer svarende til
- 0.5 eksponeringer / 100000 år
- eller
- 0.000005 eksponeringer / år
- eller
- 1 eksponering / 200000 år

I snit vil den enkelte borger altså opleve urent vand i drikkevandsforsyningen en gang hvert 200000 år. Ud fra denne risiko kan sandsynlighed for, at man i sit ca. 80 år lange liv oplever urent vand i forsyningsnettet beregnes til 0.0004.

Eksemplet ovenfor er altså svarende til fejlen med forholdsvis lav hyppighed. I tabel 8.2 ses hvordan fejlen med den høje hyppighed fører til en risiko for den enkelte borger på 0.25 eksponeringer / år. Den enkelte borger vil så kunne forvente at blive udsat for regnvand i den offentlige vandforsyning i gennemsnit en gang hvert 4 år.

Forsyningsområdernes størrelses betydning for risikoen

Betragtes forskellige parametres indvirken på risikoen, viser det sig, at størrelsen på de enkelte forsyningsområder er af særlig stor betydning. I det følgende fokuseres på dette forhold.

Betragtes igen et enkelt forsyningsområde med et enkelt regnvandsanlæg kan risikoen udtrykkes som:

$$r_1 = n_{\text{påvirket}} \cdot f_F = r_{\text{person}} \cdot g_{\text{påvirket}} \cdot a_{\text{tot}}^* \cdot f_F$$

Er der $n_{\text{anlæg}}$ i forsyningsområdet bliver risikoen tilsvarende større:

$$r_n = r_{\text{person}} \cdot g_{\text{påvirket}} \cdot a_{\text{tot}}^* \cdot f_F \cdot n_{\text{anlæg}}$$

Ved indsættelse af omregningsudtryk kan denne risiko skrives på flere forskellige former.

$$r_n = \mathbf{r}_{person} \cdot \mathbf{g}_{p\ddot{a}virket} \cdot \mathbf{r}_{anl\ddot{e}g} \cdot a_{tot}^* \cdot f_F \quad \text{da} \quad n_{anl\ddot{e}g} = \mathbf{r}_{anl\ddot{e}g} \cdot a_{tot}^*$$

$$r_n = \mathbf{g}_{ap} \cdot \mathbf{r}_{person} \cdot \mathbf{g}_{p\ddot{a}virket} \cdot a_{tot}^* \cdot f_F \quad \text{da} \quad \mathbf{r}_{anl\ddot{e}g} = \mathbf{g}_{ap} \cdot \mathbf{r}_{person}$$

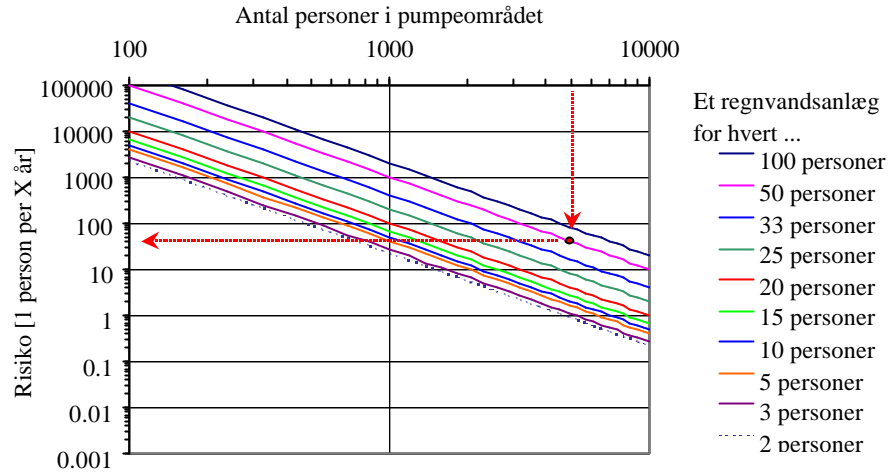
$$r_n = \mathbf{g}_{ap} \cdot \mathbf{g}_{p\ddot{a}virket} \cdot n_{person} \cdot f_F \quad \text{da} \quad \mathbf{r}_{person} = n_{person} / a_{tot}^*$$

For et givet antal regnvandsanlæg per person, \mathbf{g}_{ap} , stiger den samlede risiko for forsyningsområdet proportionalt med områdets størrelse (udtryk i antal personer, n_{person}) opløftet i anden potens. For store forsyningsområder vil risikoen for urent vand i vandforsyningen være meget større end for mindre områder. Dette forhold er illustreret i figur 8.3, hvor der på den vertikale akse er vist risikoen (udtrykt i 1 eksponeret person per X år), og der på den horisontale akse er vist forsyningsområdets størrelse (udtrykt i personer).

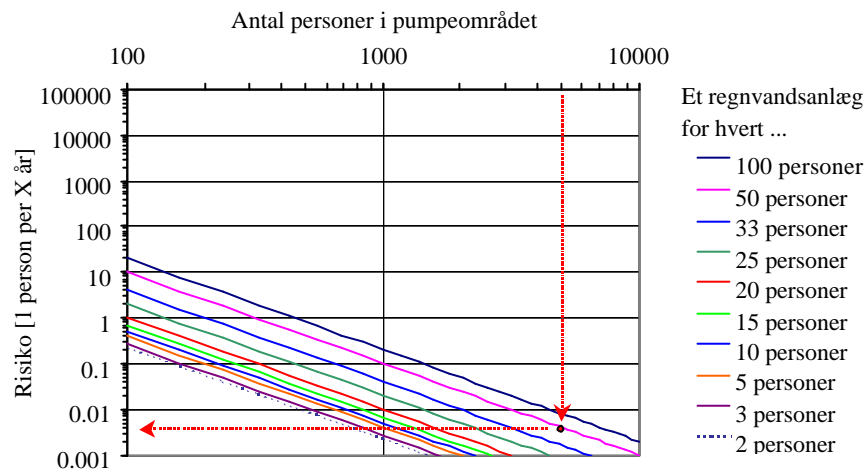
Betragt eksemplet som er fremhævet ved de røde pile i figur 8.3.

Forsyningsoplandet antages at være på 5000 personer, og det antages, at der er 1 regnvandsanlæg per 50 personer i området. Regnvandsanlæggene antages at fejle 1×10^{-7} gange per år. Ud fra denne teoretiske betragtning bliver risikoen for forsyningsområdets befolkning 1 eksponeret person per 40 år. Er forsyningsområdet derimod kun på 1000 personer reduceres risikoen drastisk til kun på 1 eksponeret person per 1000 år.

Betragtes nu en tilsvarende situation med den højere, men mere usikre (se tidligere afsnit) fejlhyppighed for fejl i regnvandsanlæggene på 1×10^{-3} gange per år fås den teoretiske sammenhæng, som vist i figur 8.4. Af eksemplet, fremhævet ved de røde pile, ses det, at risikoen for et pumpeområde med 5000 personer og 1 regnvandsanlæg per 50 personer nu er på 1 eksponeret person per 0.004 år (dvs. ca. 1 eksponeret person per 1½ dag).



Figur 8.3. Risikoen ved at have regnvandsanlæg i tilknytning til den offentlige vandforsyning som funktion af forsyningsområdets størrelse og antal anlæg i forhold til antal personer. Den viste teoretiske betragtning er baseret på risikoen for et enkelt idealiseret pumpeområde (dvs. $g_{\text{påvirket}} = 1/2$) under antagelse af en "lav" fejlhyppighed for regnvandsanlæggene (1×10^{-7} fejl/år). Se tekst vedrørende eksempel i rødt.



Figur 8.4. Risikoen ved at have regnvandsanlæg i tilknytning til den offentlige vandforsyning som funktion af forsyningsområdets størrelse og antal anlæg i forhold til antal personer. Den viste teoretiske betragtning er baseret på risikoen for et enkelt idealiseret pumpeområde (dvs. $g_{\text{påvirket}} = 1/2$) under antagelse af en "høj" fejlhyppighed for regnvandsanlæggene (1×10^{-3} fejl/år). Se tekst vedrørende eksempel i rødt.

Betragtes nu risikoen for flere forsyningsområder samlet fås følgende udtryk:

$$R = N_{\text{områder}} \cdot r_n$$

hvor $N_{\text{områder}}$ er antallet af forsyningsområder for hvilket risikoen er udtrykt ved .

$$R = N_{\text{områder}} \cdot g_{\text{ap}} \cdot g_{\text{påvirket}} \cdot n_{\text{person}}^2 \cdot f_F$$

hvor n_{person} er antallet personer i hvert enkelt forsyningsområde. Dette kan omskrives til

$$R = g_{ap} \cdot g_{p\ddot{a}virket} \cdot N_{person} \cdot n_{person} \cdot f_F \quad \text{da} \quad N_{omr\ddot{a}der} = \frac{N_{person}}{n_{person}}$$

$$R = g_{p\ddot{a}virket} \cdot N_{anl\ddot{a}g} \cdot n_{person} \cdot f_F \quad \text{da} \quad N_{anl\ddot{a}g} = g_{ap} \cdot N_{person}$$

$$R = g_{p\ddot{a}virket} \cdot \frac{N_{anl\ddot{a}g} \cdot N_{person}}{N_{omr\ddot{a}der}} \cdot f_F \quad \text{da} \quad n_{person} = \frac{N_{person}}{N_{omr\ddot{a}der}}$$

Betragtes for eksempel hele landet som et stort område (med et givet befolkningstal og et givet antal regnvandsanlæg) bestående af et antal mindre forsyningsområder ses det, at risikoen for landet som helhed er omvendt proportionalt med antallet af forsyningsområder.

Betragt for eksempel følgende to tilfælde:

- **Tilfælde E:**

- 4000 forsyningsområder
- 1250 personer i hvert forsyningsområde
- 25 anlæg i hvert forsyningsområde

I alt

- 5000000 personer
- 100000 anlæg

- **Tilfælde H:**

- 500 forsyningsområder
- 10000 personer i hvert forsyningsområde
- 200 regnvandsanlæg i hvert forsyningsområde

I alt:

- 5000000 personer
- 100000 anlæg

I begge tilfælde er der i alt 5 millioner personer og i begge tilfælde er der i alt 100000 regnvandsanlæg. Udregnes risikoen for hvert tilfælde ved at benytte udtrykket ovenfor fås:

- **Tilfælde E:**







$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2} \cdot (5000000 \cdot 100000) / 4000 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \\ &= 6,25 \text{ eksponeret personer per år} \end{aligned}$$

- **Tilfælde H:**

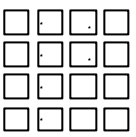
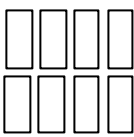
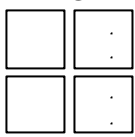
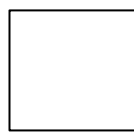
$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2} \cdot (5000000 \cdot 100000) / 500 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \\ &= 50 \text{ eksponeret personer per år} \end{aligned}$$

Eksemplet ovenfor er gengivet og udvidet i tabel 8.2.

Tabel 8.1. Eksempel til illustration af hvordan delområdernes størrelse, antal anlæg i hvert delområde og antal betragtede områder påvirker risikoen.

		A	B	C	D
<i>Enhed</i>				 	 
Antal anlæg per område	anlæg/område	1	100	1	100
Middel størrelse på område	personer/område	5 000	5 000	5 000	5 000
Antal forsyningsområder	områder	1	1	1 000	1 000
Anlæg i alt	anlæg	1	100	1 000	100 000
Samlet størrelse	personer	5 000	5 000	5 000 000	5 000 000
Konsekvens ved én fejl					
Antal eksponeret ved en enkelt hændelse (ca. ½ af område)	personer	2 500	2 500	2 500	2 500
Eksempel med en "lav" fejl hyppighed					
Fejlhyppigheden for det enkelte anlæg:	fejl/år	1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07
Hyppighed for en fejl i et af forsyningsområderne	fejl/år	1.0E-07	1.0E-05	1.0E-04	1.0E-02
Gentagelsesperioden for den hændelse at der er fejl i et anlæg:	år/fejl	10 000 000	100 000	10 000	100
Risikoen for samfundet	eksponeringer/år	0.00025	0.025	0.25	25
	1 eksponering/Xår	4000	40	4	0.04
Risikoen for den enkelte	eksponeringer/år	0.00000005	0.000005	0.00000005	0.000005
	1 eksponering/Xår	20000000	200000	20000000	200000
Eksempel med en "høj" fejlhyppighed					
Fejlhyppigheden for det enkelte anlæg:	fejl/år	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03
Hyppighed for en fejl i et af forsyningsområderne	fejl/år	1.0E-03	1.0E-01	1.0E+00	1.0E+02
Gentagelsesperioden for den hændelse at der er fejl i et anlæg:	år/fejl	1 000	10	1	0.01
Risikoen for samfundet	eksponeringer/år	2.5	250	2500	250000
	1 eksponering/Xår	0.4	0.004	0.0004	0.000004
Risikoen for den enkelte	eksponeringer/år	0.0005	0.05	0.0005	0.05
	1 eksponering/Xår	2000	20	2000	20

Tabel 8.2. Eksempel til illustration af hvordan del områdernes størrelse påvirker den samlede risiko for både samfundet og den enkelte borger.

		E	F	G	H
					
<i>Enhed</i>					
Antal anlæg per område	anlæg/område	25	50	100	200
Middel størrelse på område	personer/område	1 250	2 500	5 000	10 000
Antal forsyningsområder	områder	4 000	2 000	1 000	500
Anlæg i alt	anlæg	100 000	100 000	100 000	100 000
Samlet størrelse	personer	5 000 000	5 000 000	5 000 000	5 000 000
Konsekvens ved én fejl					
Antal eksponeret ved en enkelt hændelse (ca. ½ af område)	personer	625	1 250	2 500	5 000
Eksempel med en "lav" fejlhyppighed					
Fejlhyppigheden for det enkelte anlæg:	fejl/år	1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07
Hyppighed for en fejl i et af forsyningsområderne	fejl/år	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02
Gentagelsesperioden for den hændelsen at der er fejl i et anlæg:	år/fejl	100	100	100	100
Risikoen for samfundet	eksponeringer/år	6.25	12.5	25	50
	1 eksponering/Xår	0.16	0.08	0.04	0.02
Risikoen for den enkelte	eksponeringer/år	0.00000125	0.0000025	0.000005	0.00001
	1 eksponering/Xår	800000	400000	200000	100000
Eksempel med en "høj" fejlhyppighed					
Fejlhyppigheden for det enkelte anlæg:	fejl/år	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03
Hyppighed for en fejl i et af forsyningsområderne	fejl/år	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02
Gentagelsesperioden for den hændelsen at der er fejl i et anlæg:	år/fejl	0.01	0.01	0.01	0.01
Risikoen for samfundet	eksponeringer/år	62500	125000	250000	500000
	1 eksponering/Xår	0.000016	0.000008	0.000004	0.000002
Risikoen for den enkelte	eksponeringer/år	0.0125	0.025	0.05	0.1
	1 eksponering/Xår	80	40	20	10

Udfra ovenstående fremgår det, at forsyningsområdernes størrelse har stor betydning for risikoen. Det forholder sig sådan, at for samme anlægstæthed øges risikoen for landet som helhed omvendt proportionalt med antallet af forsyningsområder. I denne teoretiske betragtning er det antaget, at alle forsyningsområder har samme størrelse. Dette er naturligvis ikke tilfældet i praksis og risikoen vil da også forventes at være større i store forsyningsområder og mindre i de mindre forsyningsområder.

8.4.3 Danmarks scenarium

For at give et estimat for hele Danmark er der nødvendigt at foretage nogle skøn for blandt andet antal regnvandsanlæg i hvert forsyningsområde, størrelsen af forsyningsområderne (antal personer) m.v.. Disse skøn er foretaget i samråd med Danske Vandværkers Forening og er baseret på statistikker for vandforsyningen.

I tabel 8.3 er der vist tre forskellige Danmarks scenarier, hvor antal personer per forsyningsområde er angivet som en middelstørrelse udregnet fra Vandstatistikken 1999. Det skal bemærkes, at denne størrelse har en meget stor usikkerhed. Antallet af regnvandsanlæg i hele Danmark varierer fra 500 til 5000 anlæg for at vurdere betydningen af antallet af anlæg.

Det fremgår af tabel 8.3, at antal eksponeringer per år i samfundet varierer meget afhængig af hvilken fejlhyppighed, der tages udgangspunkt i. Variationsintervallet går mellem 0.04 eksponeringer per år til 3904 eksponeringer per år. Antal af anlæg spiller ligeledes en rolle på antallet af eksponeringer per år, dog ikke ligeså meget som fejlhyppigheden. Dette hænger dog direkte sammen med, at antallet af anlæg varierer fra 500 til 5000 anlæg, altså med en faktor 10, mens fejlhyppigheden varierer fra 10^{-7} til 10^{-3} , altså med en faktor 1000.

Den lave fejlhyppighed er gældende for anlæg, der stort set overholder anvisning 003 fra Rørcentret, mens den høje fejlhyppighed er for anlæg, hvor der er foretaget grove kortslutningsfejl mellem det ordinære vandværkssvand og genbrugsvandet. Tidligere i rapporten er det angivet, at der ved 6 % af alle anlæg var registreret kortslutningsfejl, dog ikke alle af den grove art. For at give et mere korrekt billede af risikoen for samfundet, er det valgt at foretage en vægtning af scenariet med lav fejlhyppighed og scenariet med høj fejlhyppighed. Vægtningen er anslået til 0.94 for lav fejlhyppighed og 0.06 for høj fejlhyppighed (fordelingen er anslået udfra antallet af anlæg med kortslutningsfejl).

Ovenstående vægtning medfører, at risikoen for samfundet udtrykt i antal eksponeringer per år, når der tages udgangspunkt i, at der forefindes 5000 anlæg i Danmark i alt, kan udregnes til følgende:

$$\begin{aligned}\text{Risiko for samfundet} &= 0.94 * \text{risiko for samfundet (lav fejlhyppighed)} + \\ & \quad 0.06 * \text{risiko for samfundet (høj fejlhyppighed)} \\ &= 0.94 * 0.39 + 0.06 * 3904 = 235 \text{ eksponeringer/år}\end{aligned}$$

Det fremgår, at anlæggene, der er indregnet med den lave fejlhyppighed, ikke spiller en rolle i det store perspektiv. Det er kun den andel af anlæg med høj fejlhyppighed, der har betydning for resultatet. Det vil sige, at med 5000 anlæg i Danmark, hvor der i 6 % af anlæggene er kortslutningsfejl, vil der ske 235 eksponeringer per år.

Foretages den samme beregning, hvor høj fejlfhyppighed udskiftes med skønnet fejlfhyppighed, bliver resultatet små 4 eksponeringer per år i stedet for de 235 eksponeringer per år.

Det realistiske billede for hele Danmark med 5000 regnvandsanlæg er nok et sted mellem 5 eksponeringer per år og 300 eksponeringer per år. Det er vigtigt at huske, at der er en stor usikkerhed i forbindelse med angivelse af denne risiko.

Tabel 8.3. Danmarks scenarium med skønnede størrelser for forsyningsområdets størrelse, antal regnvandsanlæg samt antallet af personer per forsyningsområde.

	Enhed	Danmark	Danmark	Danmark	
Antal anlæg per område	anlæg/område	0.15	0.29	1.47	
Antal personer per område	personer/område	1 561	1 561	1 561	
Antal forsyningsområder	områder	3 407	3 407	3 407	
Anlæg i alt	anlæg	500	1 000	5 000	
Samlet antal personer	personer	5 320 000	5 320 000	5 320 000	
Konsekvens ved én fejl					
Antal eksponeret ved en enkelt hændelse (ca. ½ af område)	personer	781	781	781	
Eksempel med en "lav" fejlhyppighed					
Fejlhyppigheden for det enkelte anlæg: *1	fejl/år	1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07	
Hyppighed for en fejl i ét af forsyningsområderne *2	fejl/år	5.0E-05	1.0E-04	5.0E-04	Fejlhyppighed på landsplan
Gentagelsesperioden for den hændelse, at der er fejl i et anlæg: *3	år/fejl	20 000	10 000	2 000	Gentagelsesperiode på landsplan
Risikoen for samfundet *4	eksponeringer/år	0.04	0.08	0.39	
	1 eksponering/Xår	25.62	12.81	2.56	
Risikoen for den enkelte *5	eksponeringer/år	7.3E-09	1.5E-08	7.3E-08	
	1 eksponering/Xår	136280000	68140000	13628000	
Eksempel med skønnet fejlhyppighed					
Fejlhyppigheden for det enkelte anlæg:	fejl/år	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	
Hyppighed for en fejl i ét af forsyningsområderne	fejl/år	0.01	0.01	0.05	Fejl hyppighed på landsplan
Gentagelsesperioden for den hændelse, at der er fejl i et anlæg:	år/fejl	200	100	20	Gentagelsesperiod på landsplan
Risikoen for samfundet	eksponeringer/år	4	8	39	
	1 eksponering/Xår	0.256	0.128	0.026	
Risikoen for den enkelte	eksponeringer/år	7.3E-07	1.5E-06	7.3E-06	
	1 eksponering/Xår	1362800	681400	136280	
Eksempel med en "høj" fejlhyppighed					
Fejlhyppigheden for det enkelte anlæg:	fejl/år	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	
Hyppighed for en fejl i ét af forsyningsområderne	fejl/år	0.5	1.0	5.0	Fejl hyppighed på landsplan
Gentagelsesperioden for den hændelse, at der er fejl i et anlæg:	år/fejl	2.0	1.0	0.2	Gentagelsesperiode på landsplan
Risikoen for samfundet	eksponeringer/år	390	781	3904	
	1 eksponering/Xår	0.00256	0.00128	0.00026	
Risikoen for den enkelte	eksponeringer/år	7.3E-05	1.5E-04	7.3E-04	
	1 eksponering/Xår	13628	6814	1363	

*1 Fejlhyppigheden for det enkelte anlæg er beskrevet tidligere i rapporten.

*2 Hyppighed for fejl i ét anlæg i et tilfældigt forsyningsområde er produktet af fejlhyppigheden og antal af anlæg.

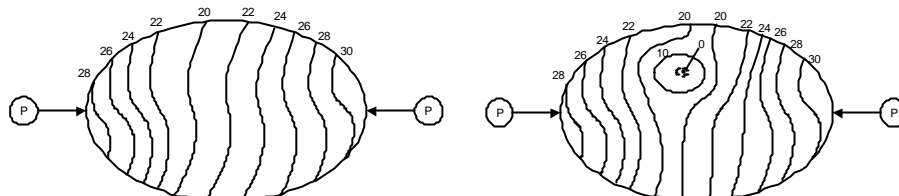
*3 Gentagelsesperioden for den hændelse er det reciprokke af hyppigheden for fejl i ét anlæg i et tilfældigt forsyningsområde.

*4 Risikoen for samfundet er produktet af hyppigheden for en fejl i ét af forsyningsområderne og antal eksponeret ved en enkelt hændelse.

*5 Risikoen for den enkelte er risikoen for samfundet divideret med antal af personer i Danmark.

8.5 Risikoberegning for trykket går af nettet og fejl i anlæg

I tilfældet, hvor trykket går af vandforsyningsnettet samtidig med, at der er etableret og aktiveret en fejlforbindelse i et regnvandsanlæg, sker der kun en forurening af vandforsyningen med regnvand, såfremt det fejlbehæftede regnvandsanlæg ligger indenfor den zone af systemet, hvor trykhøjden i vandforsyningsnettet falder under terrænkoten eller regnvandstankens placering i højden. Dette er illustreret i figur 8.5 nedenfor.



Figur 8.5: Principiel trykfordeling i et forsyningsnet før og efter brud i ledningsnettet. Brud/tryktab ved tryk nul.

Størrelsen på dette areal afhænger primært af bruddets størrelse, størrelsen på den ledning, hvori bruddet sker, og hvor kuperet et terræn, der er tale om. Hvis det fejlbehæftede anlæg ligger lavere end bruddet, vil der ikke komme regnvand ud i forsyningsnettet. Hvis anlægget ligger højere end bruddet vil regnvand fra regnvandstanken blive suget ud i vandforsyningsnettet, såfremt tryktabet i ledningsnettet mellem de to punkter er mindre end højdeforskellen mellem regnvandstanken og koten for bruddet. Generelt set vil der være tale om meget mindre udbredelser ved denne type hændelser end ved de tidligere omtalte tilfælde, hvor der pumpes regnvand ud i forsyningsnettet.

Det er ved denne type fejl meget vanskeligt at opstille nogle overordnede teoretiske betragtninger, da der her er mange flere faktorer, som spiller ind. Til gengæld bliver hyppigheden for fejl ved ledningsbrud flere størrelsesordener mindre end det ovenfor omtalte tilfælde, hvor regnvandssystemets pumpe pumper ud i vandforsyningsnettet. Dette svarer til, at sandsynligheden er meget mindre for, at der sker et brud samtidig med, at der er en direkte fejltilslutning af anlægget.

8.6 Beskrivelse af udvalgt vandforsyning

Der bruges en kalibreret model

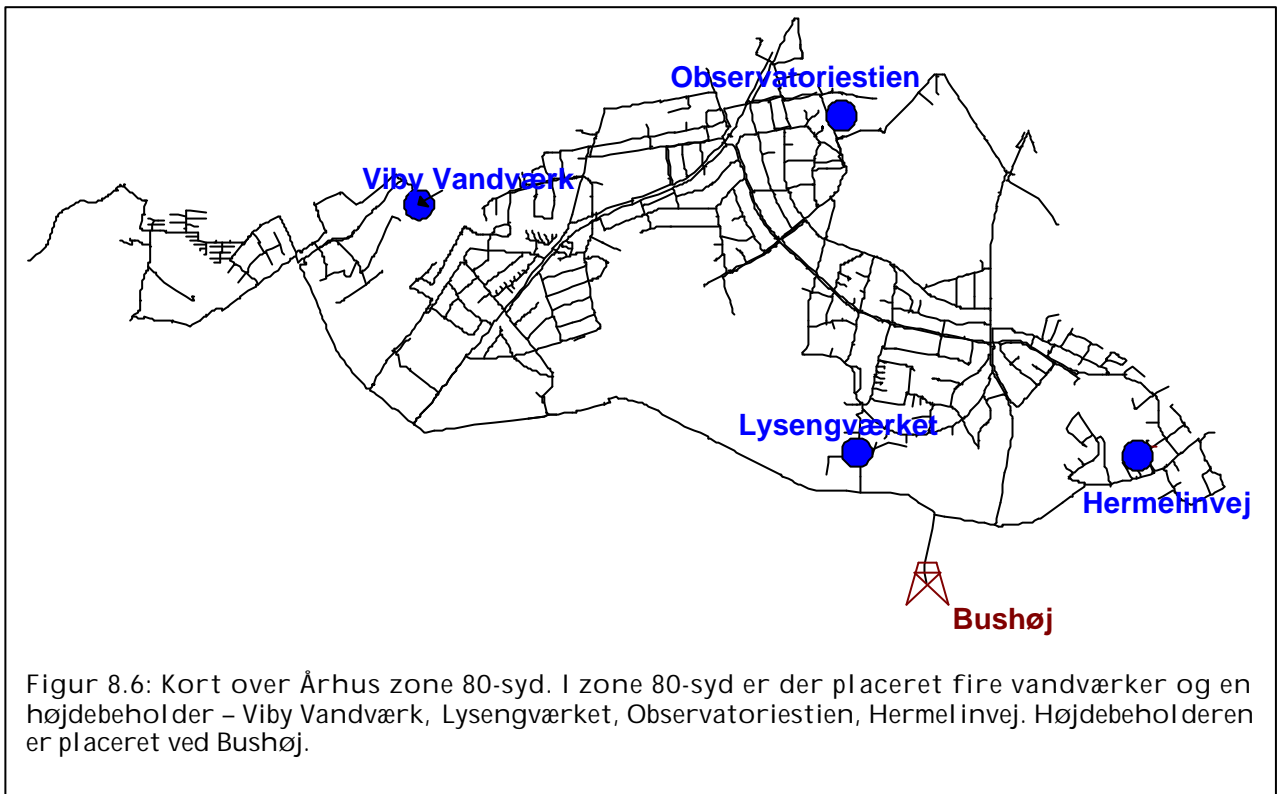
Da det har været ønskeligt at beregne udvalgte scenarier, der simulerer de faktiske forhold så godt som muligt, har det i udvælgelsen af en mulig vandforsyning været vigtigt at finde et område, hvor ledningsnettet i byen er indlagt i en tilgængelig model, som er kalibreret hydraulisk og stofudbredelsesmæssigt, således at de faktiske forhold afspejles i modellen.

Generelt om Århus

En af de byer, som er længst fremme med kalibrering af vandforsyningsnet i modeller er Århus. Århus er Danmarks næststørste by med et befolkningstal på ca. 216.000 personer (1999). I Århus er der allerede på nuværende tidspunkt registreret 10 regnvandsanlæg, som er blevet opført på forsøgsbasis og derfor et relevant område at betragte.

Delområde: Zone 80-syd For at bevare overblikket i scenarierne, tages der udgangspunkt i et delområde af Århus. Zone 80-syd er udvalgt i samarbejde med Århus Kommune

Værker, som værende det område, der bedst kan benyttes til modelarbejdet. Befolkningstallet for området er 12500 personer. Området består af en blanding af parcelhuse, etageejendomme, forretninger og industri og endda et lille område med landbrug. Det gennemsnitlige vandforbrug i Århus er 128 l/person/døgn. I området er et totalt forbrug på 2350 m³ per døgn. Omregnes dette betyder det, at 68 % af forbruget hidrører beboelse og resten hidrører erhverv/industri o. lign. På figur 8.6 ses vandforsyningsnettet i delområdet. Det fremgår af figuren, at der er fire vandværker i området (Viby Vandværk, Lysengværket, Observatoriestien og Hermelinvej) samt en højdebeholder (Bushøj). Det fremgår ligeledes, at der er tale om et traditionelt ledningssystem med ringforbindelser og hovedledninger.



Forenkling af de faktiske forhold For yderligere at simplificere modelarbejdet er størrelse af pumper og højdebeholder dimensioneret på baggrund af det faktiske forbrug i området, det vil sige, at der ikke er benyttet de faktiske data for pumper og højdebeholder i området. De faktiske forhold er for komplicerede til, at der kan laves en rimelig modelberegning på baggrund af de virkelige forhold. Det skyldes, at området er i forbindelse med andre områder, og derfor bliver forsynet med vand fra andre områder og selv forsyner andre områder med vand.

Modellen fra Århus kommunale værker er oprindeligt lavet i modelværktøjet LICWATER. Der er herefter foretaget en konvertering via MIKE NET til modelværktøjet EPANET.

8.7 Beskrivelse af de forskellige modelscenarier

En forudsætning for, at der kan ske forurening af det offentlige vandforsyningsnet via et regnvandsanlæg er enten, at trykket går af den offentlige vandforsyning eller, at trykket i det lokale genbrugssystem er større

end trykket i den offentlige vandforsyning, foruden at der selvfølgelig skal ske de fejl, der er beskrevet i kapitel 7. Disse to situationer behandles hver for sig i det følgende.

8.7.1 Tryk går af det offentlige vandforsyningsnet

Tryk går af den offentlige vandforsyning

Betragtes data oplyst af forskellige vandforsyninger i Danmark, kan trykket gå af vandforsyningsnettet ved følgende hændelser:

- Renoveringsprojekter
- Nyanlæg
- Stikledning
- Reparation af ledningsnet

Elafbrydelse

Foruden de ovenstående punkter kan en strømafbrydelse ligeledes medføre, at trykket går af nettet, da distributionspumpen ved vandværket går i stå afhængig af hvilken nødelekticitetsforsyning, der forefindes.

Modelteknisk beskrivelse af tryk går af vandforsyningen

Simuleringen i modellen af, at trykket går af det offentlige vandforsyningsnet kan modelteknisk beskrives på følgende måder:

- *Ledningsbrud på en stikledning i et udvalgt område*
Dette bevirker, at trykket vil forsvinde i en meget begrænset del af systemet, hvilket ligeledes bevirker, at forureningsfladen er lille.
- *Ledningsbrud på en hovedledning*
I dette tilfælde vil trykket falde i en større del af forsyningssystemet, da der vil være adskillige mindre ledninger samt et stort antal stikledninger, hvor trykket vil forsvinde. Dette giver en større forureningsflade

Hver af de ovennævnte begivenheder medfører, at trykket går af det offentlige vandforsyningsnet, og dermed er der mulighed for tilbagesug fra diverse alternative vandreservoirer.

8.7.2 Tryk i lokalt genbrugssystem større end tryk i det offentlige vandforsyningsnet

Tryk større i lokalt genbrugssystem end i den offentlige vandforsyning

I dette tilfælde skal trykket ikke gå af det offentlige vandforsyningsnet, men der opstår en situation, hvor trykket i det lokale genbrugssystem, som transporterer regnvand, er større end trykket i det offentlige vandforsyningsnet.

Normalt varierer trykket i et dansk vandforsyningsnet mellem 20 og 40 meter vandsøjle. De pumper, som almindeligvis benyttes til regnvandsanlæg kan yde et tryk, der er højere. Dette bevirker, at hvis der opstår en kortslutning mellem det lokale genbrugssystem og den offentlige vandforsyning samt, at et par kontraventiler og måske en tilbagestrømningssikring fejler, vil det urene vand blive pumpet direkte ud i den offentlige vandforsyning.

Modelteknisk beskrivelse

Modelteknisk modelleres dette ved at lave et negativt forbrug i det punkt, hvor regnvandsanlægget er placeret. Vandet fra dette punkt følges i modellen, og

antallet af husstande og dermed personer, som påvirkes af forureningen registreres.

Forureningsudbredelsen I begge de to ovenstående situationer – tryk går af den offentlige vandforsyning og tryk i lokalt genbrugssystem er større end tryk i den offentlige vandforsyning – afhænger forureningsudbredelsen af mange faktorer. Nogle af disse behandles i det følgende:

- *Forureningens placering i forhold til det sted i forsyningssystemet, hvor trykket går af.*

Afhængig af afstanden fra stedet, hvor der opstår et uheld, der bevirker, at trykket går af den offentlige vandforsyning, vil forureningen sprede sig mere eller mindre. Selve topografien af ledningsnettet er ligeledes vigtig, dog kun i det tilfælde, hvor trykket går af vandforsyningsnettet, da forureningen i dette tilfælde spredes via gravitation.

- *Varigheden af forureningen.*

En anden vigtig faktor er, hvor længe forureningen varer. I det tilfælde, hvor trykket går af den offentlige vandforsyning, er det vigtigt, at der ikke går for lang tid, inden trykket atter er genoprettet. Som regel er denne type forurening forholdsvis kortvarig.

I det tilfælde, hvor tryk i lokalt tryksystem er større end tryk i den offentlige vandforsyning, kan denne forurening stå på i længere perioder. Dette skyldes, at det er svært at spore lejlighedsvis forureningskilder som f.eks. regnvandsanlæg.

- *Størrelsen af regnvandstanken samt regnmængden i regnvandstanken.*

En anden faktor, der skal tages hensyn til, er størrelsen af regnvandstanken samt vandstanden i tanken. Hvis tanken er tom, og fejlene i en fejlkombination opstår, vil der ikke umiddelbart ske forurening før næste regnskyl. Derfor vil det altid være en begrænset mængde regnvand, der kan ledes ud fra et forureningssted via et regnvandsanlæg – nemlig tankens volumen, såfremt det antages, at det ikke regner under hændelsen (modelkørslen).

8.8 EPANET2

Hvad er EPANET?

Til modelberegningerne af det udvalgte vandforsyningssystem benyttes softwareprogrammet EPANET2. Programmet er udviklet af det amerikanske miljøministerium (United States Environmental Protection Agency). Programmet er anvendt overalt i verden inden for vandforsyningsmodellering. Det skyldes dels, at programmet er gratis og dels, at der er adgang til kildekoden, så enhver kan videreudvikle modellen. Bl.a. benytter DHI - vand og miljø også EPANET2 som beregningskerne for deres produkt MIKE NET.

Hvad kan EPANET?

EPANET kan forudsige den dynamiske hydraulik og vandkvalitet inden for et vandforsyningssystem over en længere periode. Et vandforsyningssystem består af rør, bygværker, pumper, ventiler, højdebeholdere og andre reservoirer. EPANET følger flowet i rørene, trykket i hvert punkt, højden i hver beholder og koncentrationen af et kemisk stof gennem hele systemet inden for en simuleringsperiode. Desuden er det muligt i stedet for

undersøgelse af kemisk stof at lave en undersøgelse af vandets alder i systemet eller spore vandet fra et specifikt punkt.

EPANET er et værktøj, der er udviklet for at øge vores forståelse for drikkevandets bevægelse og tilstand i et vandforsyningsystem.

EPANET er udvalgt til modelberegningerne, fordi det er et velkendt og meget benyttet program, og det indeholder faciliteter, der gør det muligt at simulere et brud på en ledning samt følge en forurenings udbredelse igennem systemet.

8.9 Beregninger

Beregningerne foretages på et udvalgt område af Århus, kaldet zone 80syd. Dette område er i sin virkelige opbygning forholdsvis kompliceret. Dette skyldes forhold, som ikke er relevante for vores projekt, og det vil føre for vidt at uddybe de komplekse forhold her. Derfor er det valgt at idealisere området, således at der arbejdes med et uafhængigt område. Det betyder derfor også, at pumper og højdebeholder er dimensioneret efter områdets forbrug og ved at sikre at ethvert punkt har en minimumstrykhøjde på 20 m. Der er benyttet reelle forbrugstal fra systemet fra en standard hverdag.

Modelkriterier

I beregningerne benyttes følgende kriterier:

- en regnvandstank på 5000 l (dog et enkelt tilfælde med 2500 l)
- en fuld regnvandstank tømmes ud i det offentlige vandforsyningsnet.
- hvis trykket i lokalt net er større end i vandforsyningsnettet sker forureningen fra kl. 24.00 til kl. 1.00 med et konstant udløbsflow.
- hvis trykket går af vandforsyningsnettet sker uheldet kl. 24.
- en vilkårlig placering af regnvandsanlægget i vandforsyningsnettet.
- der regnes med et dagligt vandforbrug på 131 l/person
- der er valgt en bagatelgrænse for forureningen på 0.05%
- der foretages ikke nogen udbedring af skader inden for simuleringstiden.

Regnvandstankens størrelse varierer en del, idet etageejendomme kan have tanke på f.eks. 15000 l og parcelhuse kan have tanke på 2500 l. Derfor er valgt en mellemstørrelse på 5000 l. Det anses for realistisk, at regnvandet er pumpet ud i løbet af 1 time. Ofte vil det være pumpet ud hurtigere med de pumper, der i dag benyttes til regnvandsanlæg. En begrænsning i EPANET gør dog, at det ikke er muligt at lave en simulering, hvor forureningen sker på mindre end 1 time. Tidspunktet for forureningen er valgt for at få en situation, hvor det forurenede vand har den længste opholdstid - om natten er forbrugt lavt, og der vil derfor gå længere tid inden det forurenede vand vil forsvinde ud af systemet. Vandforbruget er det gennemsnitlige forbrug fra 1999.

Bagatelgrænsen betyder, at hvis regnvandet er mindre end 0,05% af det uforurenede vand regnes forureningen lig 0. Der vurderes ikke på graden af forureningen, men kun om det pågældende område er berørt. Der tages ikke stilling til om forureningen har en så høj koncentration, at det er skadeligt. Antallet af berørte personer udregnes ud fra vandforbruget fra parcelhuse og etageejendomme i det berørte område sammenholdt med det gennemsnitlige daglige vandforbrug. Det er klart, at man i virkeligheden vil forsøge at udbedre en skade - f.eks. et ledningsbrud - så hurtigt som muligt. I de tilfælde, hvor der ikke er ledningsbrud, kan det dog være svært at registrere en fejl, da forureningsmængden fra regnvandsanlæg er forholdsvis lille. Enkelte tilfælde vil man registrere det pga. klager fra borgere eller lign men i andre tilfælde vil

det nok aldrig blive opdaget, medmindre borgeren der har oplevet problemet indberetter det til myndighederne.

8.9.1 Tryk i lokalt genbrugssystem større end i det offentlige vandforsyningsnet

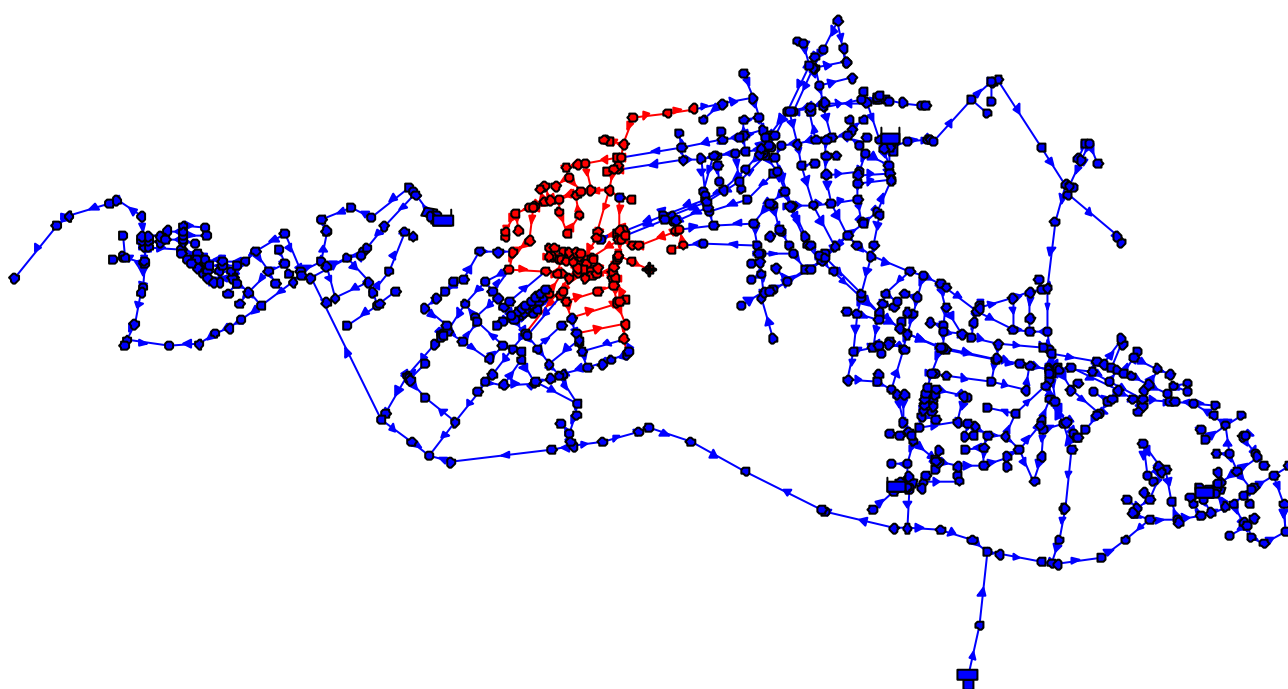
Som nævnt sker der i dette tilfælde en forurening af vandforsyningsnettet, fordi pumpen til regnvandsanlægget har en trykhøjde større end vandforsyningsnettet.

Modelkriterier

Dette simuleres i EPANET ved at lede en konstant vandmængde fra et punkt i løbet af den første time. Derefter kan man spore vandet fra dette punkt rundt i nettet. På den måde kan udbredelsen af det forurenede vand bestemmes.

Eksempel 1

I det første eksempel er der placeret et regnvandsanlæg midt i forsyningsområdet. I figur 8.7 er regnvandsanlægget markeret med et kryds. Det røde område viser udbredelsen af forureningen.



Figur 8.7: Det røde område viser forureningen af regnvand i området zone80syd i Århus - eksempel 1.

Modelberegningerne viser, at 2700 personer bliver berørt af forureningen, og ved normalt forbrug tager det 37 timer inden alt det forurenede vand er ude af systemet.

Eksempel 2

I næste eksempel foretages den samme modelberegning, dog er den forurenende vandmængde reduceret fra 5000 l til 2500 l. Resultatet kan ses af figur 8.8.



Figur 8.8: Det røde område viser forureningen af regnvand i området zone80syd i Århus - eksempel 2.

Det ses, at udbredelsen som forventet er mindre end før. Beregningerne viser, at der nu er 750 personer, der bliver berørt af forureningen. Forureningen er forsvundet efter 12 timer.

Eksempel 3

I det tredje eksempel er regnvandsanlægget placeret et andet sted i vandforsyningsnettet, men er ellers identisk med eksempel 1. Området indeholder mest parcelhuse og lidt byerhverv og nogle enkelte etageejendomme.



Figur 8.9: Det røde område viser forureningen af regnvand i området zone80syd i Århus - eksempel 3.

I forhold til eksempel 1 er udbredelsen meget mindre. Kun 480 personer bliver berørt af forureningen, og efter 23 timer er forureningen ude af systemet.

Eksempel 4

I eksempel 4 er regnvandsanlægget placeret i det vestlige område. Her er også flest parcelhuse, men der er også landbrug og nogle få etageejendomme.



Figur 8.10: Det røde område viser forureningen af regnvand i området zone80syd i Århus - eksempel 4.

I dette tilfælde bliver 400 personer berørt af forureningen og forureningen er forsvundet efter 34 timer.

8.9.2 Tryk går af det offentlige vandforsyningsnet.

Som nævnt kan der ske en forurening af vandforsyningsnettet, hvis trykket går af det offentlige net og der er fejl i regnvandsanlægget. I dette tilfælde vil regnvandstanken blive tømt ud i nettet. Hvor stor betydning et ledningsbrud får for trykket i nettet er meget afhængig af, i hvilken type rør bruddet sker i - sker det på en hovedledning, kan trykket gå af i et stort område, men sker det på en stikledning er det ikke sikkert, at det kan registreres andre steder end i det aktuelle punkt, fordi pumper og højdebeholder nemt kan følge med til at opretholde trykket på trods af det øgede "forbrug". Regnvandsanlæggets kote i forhold til hvor bruddet sker har også betydning for udbredelsen. Kun hvis regnvandsanlægget er placeret højere end bruddet vil der kunne komme en forurening. Der vil i de følgende blive set på et par ydersituationer.

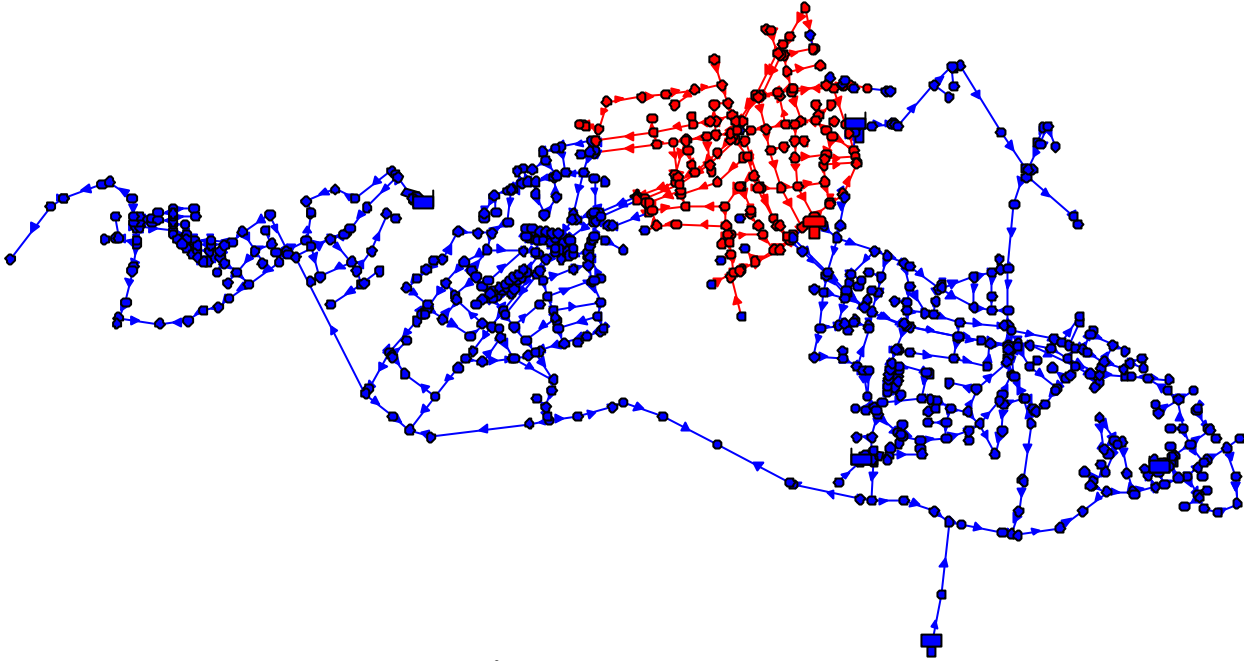
Modelkriterier

I modellen simuleres et regnvandsanlæg ved at placere en tank med størrelsen 5000 l i tilknytning til et punkt. Regnvandstanken placeres på niveau med det pågældende punkt. Der går således en ledning fra tanken til det pågældende punkt - ledningen har en kontraventil, så vandet kun kan gå ud i vandforsyningsnettet. Vi ønsker ikke at se på situationen, hvor vandværksvandet ledes ind i regnvandstanken, da den situation er uinteressant i forhold til den ønskede undersøgelse af alvorlige risici. Ledningsbruddet simuleres i EPANET ved at give et punkt i nettet en høj afgivelseskoefficient (emitter coefficient). Dette betyder, at der i punktet ledes en stor mængde vand ud i punktet, hvorved trykket falder i et område omkring punktet. I programmet er det derefter muligt at spore vandet fra regnvandstanken igennem systemet over en periode og dermed kan man bestemme udbredelsen af det forurenede vand.

Eksempel 1: Hovedledning

I det første eksempel er der brud på en hovedledning midt i systemet og regnvandsanlægget er placeret et stykke væk i den østlige del. På figur 8.11 kan anlægget ses som en større rød firkantet boks og bruddet kan ses ved et sort kryds. I følge teorien beskrevet i afsnit 8.8 vil området mellem regnvandsanlægget og ledningsbruddet blive forurenede. Det ses tydeligt af figur 8.11, at det også er tilfældet for modelberegningen.

Figur 8.11: Det røde område viser forureningen af regnvand i området

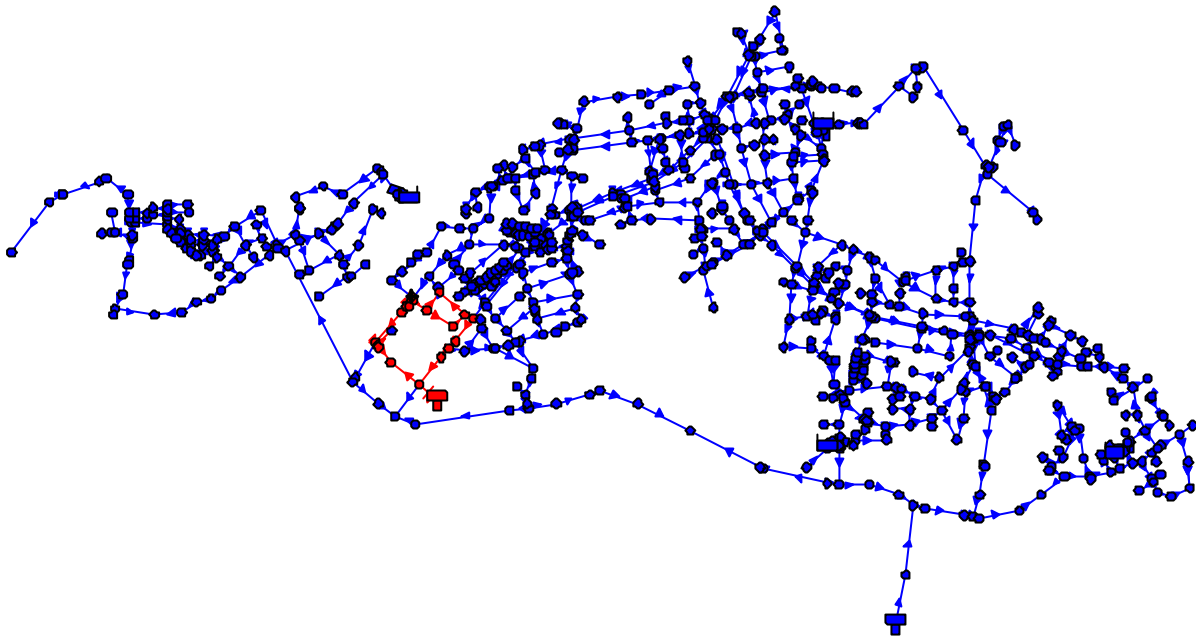


zone80syd i Århus - eksempel 1.

Denne simulering viser, at 2950 personer bliver ramt af forureningen, og at det tager 24 timer inden forureningen er ude af systemet.

Eksempel 2: mindre ledning

I eksempel 2 er ledningsbrud og regnvandsanlæg placeret tættere på hinanden og bruddet sker også i en lidt mindre ledning. Resultatet af simuleringen ses af figur 8.12. Et noget mindre område er omfattet af forureningen - alligevel drejer det sig om 1450 personer, der er berørt. Det skyldes, at der i området er nogle store etageejendomme. Allerede efter 3 timer er forureningen forsvundet ud af nettet.



Figur 8.12: Det røde område viser forureningen af regnvand i området zone80syd i Århus - eksempel 2.

8.10 Diskussion af modelberegninger

Størrelsen af tanken har betydning

I eksempel 1 og 2, hvor trykket er større i det lokale genbrugssystem end i den offentlige vandforsyning, er den eneste forskel størrelsen af regnvandstanken (5000 l kontra 2500 l) og eksponeringen bliver henholdsvis 2700 personer og 750 personer. Det viser tydeligt, at størrelsen af eksponeringen afhænger af, hvor stor en mængde forurenet vand, der ledes ud i vandforsyningssystemet. Eksponeringstiden er også meget forskellig henholdsvis 37 timer og 12 timer. Grunden til den mindre eksponering ved en lille tank skyldes, at forbruget af vand sikrer, at det forurenede vand forlader systemet hurtigere, og dermed ikke når den samme udbredelse. Det skal her bemærkes, at der i beregningerne ikke er taget højde for, at bakterier sætter sig på vandforsyningsledningerne som belægninger, og dermed reelt forefindes i ledningssystemet i længere tid end angivet via beregningerne.

Modelberegninger sammenlignes med de teoretiske overvejelser

Umiddelbart er dette i strid med de teoretiske overvejelser, idet disse forudsætter, at enhver forurening vil spredes ud til neutralpunktet uanset mængde. Et problem med de teoretiske overvejelser er, at disse ikke tager højde for forbrugets variation i døgnet.

Regnvandsanlæggets placering i forsyningssystemet

Eksempel 3 og 4 bekræfter, at regnvandsanlæggets placering i forsyningsområdet har stor betydning. I begge eksempler er anlægsstørrelsen på 5000 l, og der sker en eksponering af mellem 400 og 500 personer. Altså betydeligt lavere end eksponeringen i eksempel 1. Der kunne vises mange andre eksempler, der vil bekræfte denne store spredning - i det tilfælde, hvor højdebeholderen bliver forurenet, vil der være en stor risiko for, at endnu flere end de i eksempel 1 anførte, vil blive eksponeret.

Trykket går af den offentlige vandforsyning

Eksemplerne for situationen, hvor trykket går af nettet, viser, at også i dette tilfælde kan mange blive eksponeret. I eksempel 1-trykket går af den offentlige vandforsyning, hvor udbredelsen er forholdsvis stor, eksponeres 2950 personer. Men der er langt mindre sandsynlighed for at denne hændelse sker i forhold til, at trykket er større i det lokale genbrugssystem jf. kapitel 7, og det vil ofte være tilfældet, at der ikke sker nogen forurening, selvom trykket går af nettet, og der er en fejlforbindelse, fordi anlægget skal være placeret i en højere kote end koten for ledningsbruddet, og bruddet skal ske i en større ledning for, at det vil få effekt på systemet. I eksempel 2-trykket går af den offentlige vandforsyning er udbredelsen en del mindre, og der sker en eksponering af 1450 personer. Det kan umiddelbart undre, at der sker eksponering af så mange personer i betragtning af den lille geografiske udbredelse, men det skyldes, at der er nogle store etageejendomme i området.

De to eksempler bekræfter ligeledes, at bruddets placering og placering af anlægget har stor betydning for eksponeringen.

9 RISIKO – regnvandsanlæg

I dette afsnit sammenholdes den teoretiske overvejelser med de faktiske modelberegninger. På denne måde valideres den teoretiske indgangsvinkel på baggrund af faktiske modelberegninger i et kalibreret opland.

Desuden diskuteres hvilke parametre, der er de væsentligste for beregning af risiko for en uønskede hændelse.

9.1 Modelberegning – teoretiske overvejelser

Teoretiske overvejelser - modelberegninger

I dette afsnit sammenlignes de teoretiske overvejelser med de faktiske modelberegninger. På denne måde valideres den teoretiske indgangsvinkel på baggrund af faktiske modelberegninger i et kalibreret opland.

Risikoen afhænger af pumpeområdets størrelse

I teoriafsnittet blev det vist, at risikoen for forurening af den offentlige vandforsyning er afhængig af pumpeområdets størrelse i anden potens, figur 8.3. På figur 9.1 er figuren gengivet, men i stedet for det teoretiske eksempel på 5000 personer, indlægges de faktiske data for Århus zone 80-syd.

Data for Århus zone 80-syd

I Århus zone 80-syd er der 12.500 personer. Ifølge Danmarks statistik bor der i gennemsnit 2,19 personer pr. husstand i Århus. Dette medfører, at der ca. er 5.700 husstande i Århus zone 80-syd. I det kritiske tilfælde, hvor trykket i det lokale genbrugssystem er større end trykket i den offentlige vandforsyning, er en af forudsætningerne, at denne forurening foregår om natten. På dette tidspunkt af døgnet forsyner kun pumperne i området og ikke højdebholderen. Det vil sige, at der i Århus zone 80-syd er fire forsyningskilder på dette tidspunkt – Viby Vandværk, Observatoriestien, Lysengværket og Hermelinvej. Forudsættes det, at alle forsyningskilder forsyner et lige stort område, giver dette i gennemsnit et forsyningsområde pr. forsyningskilde på 1427 husstande (3125 personer).

Tages der samtidig udgangspunkt i, at der dels installeres ét regnvandsanlæg per 50 personer, og dels at der benyttes en fejlhyppighed på $1 * 10^{-7}$ pr. år for, at den uønskede hændelse indtræffer, kan modelberegningerne for situationen trykket i det lokale genbrugssystem er større end trykket i den offentlige vandforsyning indlægges i den teoretiske figur. Fejlhyppigheden $1 * 10^{-7}$ pr. år er ca. midtpunktet i intervallet af de beregnede fejlhyppigheder i kapitel 7 og er derfor valgt som udgangspunkt til validering af de teoretiske beregninger.

Teoretisk resultat

På figur 9.1 er de faktiske data for Århus zone 80-syd indlagt og markeret med den røde linie. Antal personer i hvert pumpeområde er ca. 3125. Dette giver ifølge de teoretiske overvejelser en risiko for forurening af den offentlige vandforsyning på 1 eksponering per 105 år, når udgangspunktet er en fejlhyppighed på $1 * 10^{-7}$ pr. år.

Modelresultater

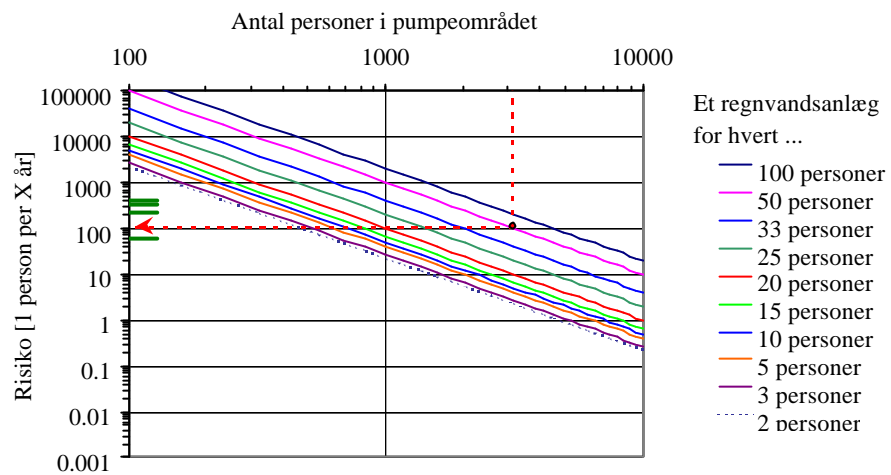
Der er foretaget fire modelberegninger med den situation, hvor trykket i det lokale genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning, hver af disse beregninger er indlagt i figur 9.1 og markeret med en grøn linie. Det

fremgår, at risikoen varierer mellem 1 eksponeret person per 60 år til 400 år. Middeltallet af de fire beregninger er på 1 eksponeret person per 150 år.

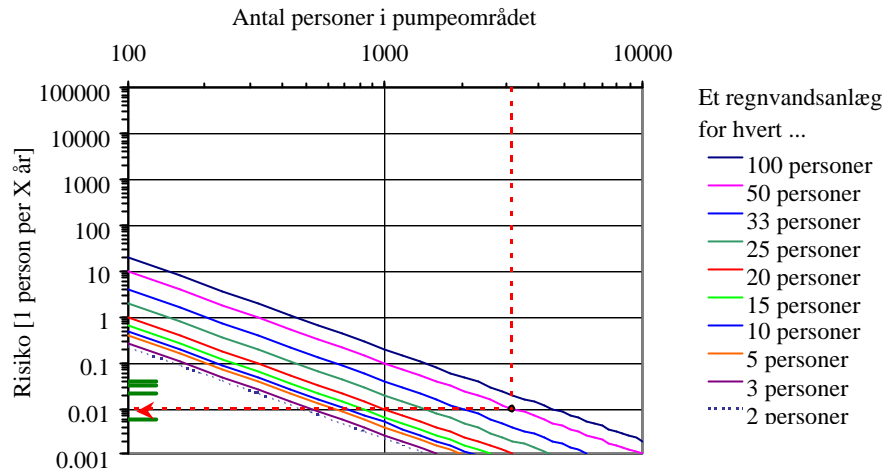
På figur 9.2 ses de samme overvejelser som beskrevet ovenfor dog med den forskel, at der benyttes en fejlhyppighed på $1 \cdot 10^{-3}$ per år i stedet for $1 \cdot 10^{-7}$ per år. Den teoretiske indgangsvinkel giver, at der vil være 1 eksponeret person hver 0,01 år, altså 100 eksponerede personer per år. Modelberegninger viser en god overensstemmelse med de teoretiske overvejelser.

Teori stemmer fint overens med modelberegningerne

Umiddelbart må det ud fra ovenstående konkluderes, at ud fra de fire modelberegninger, stemmer teorien fint overens med faktiske modelberegninger. Det skal dog bemærkes, at der kun er foretaget modelberegninger på et opland, da disse beregninger er meget tidskrævende.



Figur 9.1: Risikoen for regnvand i den offentlige vandforsyning afhænger af områdets størrelse samt hvor mange regnvandsanlæg der er i området. Den røde pil viser de teoretiske betragtning for Århus zone 80-syd med den forholdsvis lave fejlhyppighed på 1×10^{-7} per år. De fire modelberegninger, hvor trykket i det lokale genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning er indlagt i figuren og markeret med grøn farve. Det ses, at de teoretiske resultater (risiko = 1 eksponeret person per 100 år) stemmer fint overens med de faktiske modelberegningers middeltal (risiko = 1 eksponeret person per 150 år).



Figur 9.2: Kurverne svarende til figur 8.13 men under antagelse af den forholdsvis høje fejlhyppighed på 1×10^{-3} per år. Den røde pil viser de teoretiske betragtning for Århus zone 80-syd. Modelberegninger for området er vist i grøn og stemmer godt overens med teorien. Risikoen ligger på ca. 1 eksponeret person per 0,01 år svarende til 100 eksponerede personer per år.

9.2 Væsentlige parametre for beregning af risiko

To vigtige parametre

Som det er vist ovenfor er der to vigtige parametre, der til dels bestemmer, hvor stor risikoen for en uønsket hændelse er. Det skal her huske, at risiko er defineret som fejlhyppigheden ganget med konsekvensen. Den ene faktor er på fejlhyppighedssiden og den anden er på konsekvenssiden. Disse er følgende:

- ❑ Fejlforbindelse mellem drikkevands- og regnvandsinstallation (fejlhyppighedssiden)
- ❑ Pumpeområdets størrelse (konsekvenssiden)

Fejlforbindelse - fejlhyppighed

Forskellen på Figur 9.1 og Figur 9.2 er fejlhyppighedens størrelse. I det ene tilfælde blev der benyttet 1×10^{-7} per år og i det andet 1×10^{-3} per år. Forskellen i størrelsen på fejlhyppigheden kan forklares ved, hvor fejlforbindelsen mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen etableres, og dermed hvor mange komponenter, der skal fejle før hændelsen indtræffer. Udfra det foreliggende datamateriale er det ikke muligt at foretage en opdeling af disse fejlforbindelser, således at de blev grupperet afhængig af, hvor denne fejlforbindelse etableres. Det værste tilfælde er den registrerede fejlforbindelse i Odense, hvor samtlige komponenter forbigås via fejlforbindelsen. Dette er dog et enkelt stående eksempel. Det skal dog bemærkes, at det er et meget afgørende punkt for, hvor stor fejlhyppigheden bliver for den uønskede hændelse. Hvis der ikke forefindes fejlforbindelser kan risiko sættes til stort set nul.

Pumpeområdets størrelse

Pumpeområdets størrelse er ligeledes en meget vigtig faktor. Denne faktor er på konsekvenssiden og ikke på fejlhyppighedssiden. Det fremgår af de teoretisk udledte grafer, at jo større pumpeområdets størrelse er, jo større vil eksponeringen af det forurenede vand blive. Dette vil selvfølgelig også afhænge af andre faktorer som f.eks. placeringen af regnvandsanlægget samt tidspunktet af døgnnet for forureningen. For at få en ide om, hvor store pumpeområder, der findes i Danmark, er der via Danske Vandværkers

Forening foretaget en lille undersøgelse. Det viste sig, at der var meget store variation fra by til by. I det følgende nævnes et par eksempel.

Sæby – Der forsynes ca. 11.000 fastboende personer samt et antal fritidshuse. Forsyningen sker gennem 8 trykzoner. Vandet pumpes fra Vandværket til byzonen og derfra videre til de øvrige trykzoner. Hvis f.eks. er findes et regnvandsanlæg i byzonen lige nedstrøms for vandværket, vil dette anlæg teoretisk kunne forurene næsten alle beboerne i Sæby, hvis den uønskede hændelse indtræf.

Roskilde – Der forsynes ca. 49.500 personer. Forsyningen sker gennem 2 trykzoner. Den ene forsyner 10.414 ejendomme, mens den anden forsyner 1.604 lavtliggende ejendomme. Roskilde er ligeledes et eksempel på, at hvis der sker en forurening i det område, hvor der forefindes 10.414 ejendomme, vil et stort antal personer eksponeres for forureningen.

Dette er blot to eksempler på store pumpeområder. Selv ved den lave fejlfrekvens på $1 \cdot 10^{-7}$ per år, vil sådan store pumpeområder medføre en forholdsvis høj risiko jævnfør figur 9.1 og figur 9.2.

Tilsyn med anlæggene

Af ovenstående fremgår det, at det er meget vigtigt at reducere antallet af fejlforbindelser i forbindelse med projektering/konstruktion/drift/vedligeholdelse af et regnvandsanlæg. Den eneste måde hvorpå sådan en reduktion kan finde sted, er ved regelmæssig kontrol (inspektion) af anlæggene. Denne kontrol skal udføres af fagfolk, da det ikke kan overlades til indehaveren af anlæggene. Indehaveren kan tilse resten af anlægget og vedligeholde dette, men kravene til vandforsynings siden (tilbagestrømningssikring) og dermed mulige fejlforbindelser skal kontrolleres af fagfolk.

Risikokommunikation

Det er desuden vigtigt at sørge for en målrettet risikokommunikation til alle, der arbejder eller generelt kommer i forbindelse med regnvandsanlæg. Indehaveren skal have kendskab til anlægget og vide, hvordan de gældende regler omkring regnvandsanlæg er. Installatøren af anlægget skal have kendskab til Rørcentrets anvisning, således at de væsentligste fejl kan undgås. Det bedste er at indbygge installation af regnvandsanlæg i den generelle vvs-uddannelse, hvilket er ved at blive implementeret.

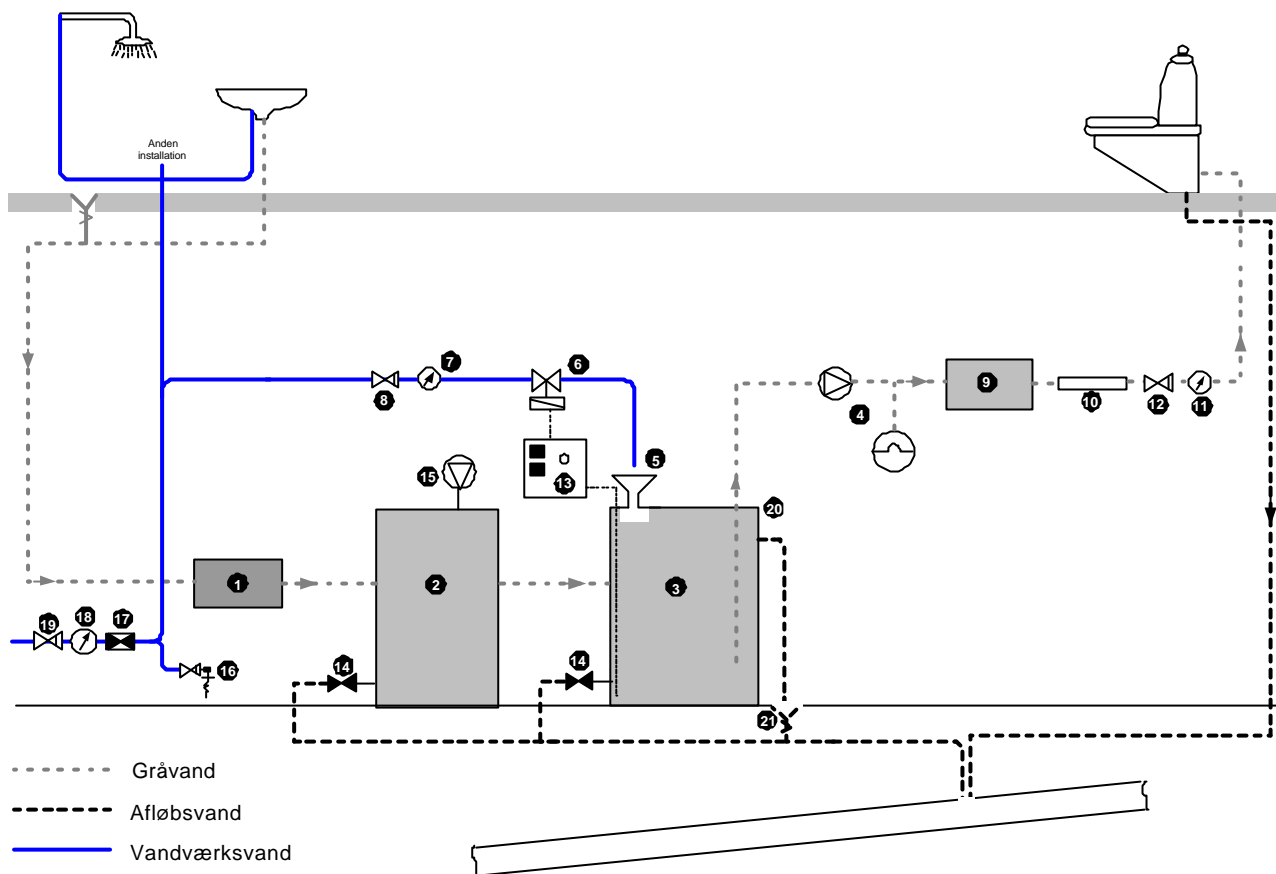
10 Gråvandsanlæg

I dette kapitel beskrives et "typisk" gråvandsanlæg, som er udgangspunkt for den kvantitative risikoanalyse.

10.1 Beskrivelse af gråvandsanlæg

På Figur 10.1 ses en principskitse af et "typisk" gråvandsanlæg.

- Sikkerhedsforanstaltning er overført fra regnvandsanlæg* Det skal bemærkes, at de ekstra sikkerhedsforanstaltninger, som blev fundet nødvendige og fordelagtige under risikoanalysen af regnvandsanlæg, er direkte overført til gråvandsanlæg. Selvom der ikke forefindes en anvisning for gråvandsanlæg, er det vigtigt, at der for alle gråvandsanlæg, som tillades på forsøgsbasis, som minimum stilles krav svarende til regnvandsanlæg. Dette er ligeledes ensbetydende med, at gråvandsanlægget er blevet lidt ændret set i forhold til tegningen angivet i /3/ ved at tilføje en tilbagestrømningssikring.
- Generelt om gråvandsanlæg* Princippet i gråvandsanlæg er mere kompliceret end i regnvandsanlæg, da vandkvaliteten er forskellig. Det grå spildevand er det spildevand, der genereres fra bad og håndvask, bortset fra håndvasken i køkkenet, da dette spildevand indeholder for meget fedtstof. Det grå spildevand er primært forurenede med sæberester og små koncentrationer af organiske stoffer, bakterier m.v.. Når dette spildevand er rensede, kan det anvendes til wc-skyll i stedet for rent vandværksvand, og i enkelte tilfælde, hvor rensningen er god, kan det rensede grå spildevand ligeledes anvendes til tøjvask.
- Gråtvand jævnt fordelt over året* I modsætning til regnvand som principielt anvendes til det samme, er det grå spildevand fordelt jævnt over hele året. Derfor vil forbruget af vandværksvand til disse formål næsten helt kunne spares. Set samfundsmæssigt vil den samlede hydrauliske belastning på rensningsanlæggene blive mindre, mens den samlede næringsstofbelastning totalt set vil være næsten den samme.
- Forskellige rensningsteknikker* Et anlæg til håndtering af gråt spildevand kan konstrueres efter forskellige principper. I Danmark er den mest anvendte metode et recirkulationsanlæg, som består af nogle filtre, minirensningsanlæg og separate rørsystemer. Rensningsprocesserne kan være fældning, biologisk rensning, filtre og UV-desinfektion. De fleste anlæg benytter en kombination af disse metoder.
- Fra bad og håndvask til forbrugsstederne* På Figur 10.1 er vist et "typisk" gråvandsanlæg, hvor spildevand fra bad og håndvask først ledes gennem et grovfilter i separate ledninger og dernæst til en biologisk tank. Den biologiske tank er et dykket biofilter, hvor sæberester og ammoniak bliver omdannet. Luftningen i filteret udføres af en luftpumpe. Efter den biologiske tank ledes det grå spildevand over i en opbevaringstank, hvorfra det pumpes igennem et finfilter og et UV-anlæg til forbrugsstederne. Efter UV-anlægget er der placeret en vandmåler, således at det samlede forbrug af vandværksvand og gråt spildevand kan registreres. Før vandmåleren er der placeret en kontraventil.



1. Grovfilter
2. Biofilter
3. Tank
4. Pumpe i forbindelse med hydrofor
5. Luftgab
6. Magnetventil med niveauføler
7. Vandmåler på vandværksledning
8. Kontraventil i forbindelse med vandmåler
9. Finfilter
10. UV-desinfektion
11. Vandmåler på gråvandsledning
12. Kontraventil i forbindelse med vandmåler
13. Automatisk styreenhed
14. Aftapningshane
15. Luftpumpe
16. Tapventil
17. Tilbagestrømningssikring (rørafbryder)
18. Vandmåler på stikledning
19. Kontraventil i forbindelse med vandmåler på stikledning
20. Overløb fra tank
21. Vandlås ved gulvaflob

Figur 10.1

Skitse af anlæg til håndtering af gråt spildevand. Principskitsen er taget fra /3/.

Overløb fra tank

I opbevaringstanken er der et overløb til afledning af overskydende vand, hvis vandstanden i tanken skulle stige over en vis højde. Overløbet er koblet til kloak via et luftgab.

Efterfyldning af vandværksvand

I tilfælde af, at der ikke er nok gråt spildevand til at dække behovet, er der mulighed for at lede vandværksvand ned i tanken, som derefter pumpes ud til forbrugsstederne. Vandværksvandet tilledes via et luftgab og aktiveres via en magnetventil, en niveauekontakt og den automatiske styreenhed. Når vandstanden i tanken når et vist minimumsniveau aktiveres magnetventilen, således at der kan tilledes vandværksvand. På vandværksledningen er der placeret en vandmåler, således at forbruget af vandværksvand kan registreres samt en kontraventil, således at risikoen for tilbagestrømning til det offentlige vandforsyningsnet reduceres.

Inde i kælderen er der ligeledes placeret en tapventil, og da lovgivningen i forbindelse med en tapventil, ligeledes kræver et gulv afløb, er dette ligeledes anført på tegningen.

Betragtes nu stikledningen til vandforsyningen, er der anbragt en tilbagestrømningssikring og en vandmåler med en kontraventil. Tilbagestrømningssikringen er for at øge sikkerheden mod tilbageløb fra grävandsanlægget.

10.2 Uønskede hændelser

I rapporten omhandlende den kvalitative risikoanalyse på et grävandsanlæg /PH-Consult, 1999/ blev følgende uønskede hændelser indenfor projektets rammer identificeret:

- Spildevand i den offentlige vandforsyning
- Gråt spildevand i den offentlige vandforsyning
- Spildevand i cisterner
- Urenset gråt spildevand i cisterner

Det er ligesom for regnvandsanlæg besluttet, at der primært fokuseres på forurening af den offentlige vandforsyning, da denne har den største eksponeringsflade i tilfælde af fejl. Det skal dog bemærkes, at risiko er produktet af konsekvens og fejlhyppighed (sandsynlighed), og derfor hvis fejlhyppigheden er stor, kan en lille konsekvens måske medføre, at risikoen stadig væk er så betydningsfuld, at den ikke er acceptabel. Dette betyder, at selvom det kun er en begrænset eksponeringsflade, der forefindes i den lokale husstand, kan hyppigheden for den uønskede hændelse bevirke, at risikoen stadigvæk må betegnes som stor og dermed uacceptabel. Det er dog valgt ikke at beskæftige sig yderligere med de uønskede hændelser, der kun rammer den lokale husstand, da dette ikke er en del af formålet med denne rapport.

De uønskede hændelser, der kvantificeres i de følgende afsnit er følgende:

- Spildevand i den offentlige vandforsyning
- Gråt spildevand i den offentlige vandforsyning

Måden, hvorpå forureningen af den offentlige vandforsyning kan finde sted, er på samme måde, som beskrevet under regnvandsanlæg. Der etableres en fejlforbindelse mellem drikkevands- og grävandsinstallationen samtidig med,

at et antal komponenter fejler og trykket går af vandforsyningsnettet eller trykket i det lokale genbrugssystem er større end i den offentlige vandforsyning. Måden disse fejlforbindelser kan etableres på er stort set de samme som beskrevet under regnvandsanlæg (kapitel 3). Derfor uddybes disse fejlforbindelser ikke yderligere.

10.3 Beskrivelse af udvalgte fejl træer

Principskitsen på Figur 9.1 viser et typisk grävandsanlæg. Enkelte komponenter kan variere fra anlæg til anlæg afhængig af hvilken rensningsmetoder, der vælges. Selve placeringen af tanke varierer ikke lige så meget, som tilfældet var for et regnvandsanlæg, da et grävandsanlæg kræver meget tilsyn. Processerne i et grävandsanlæg er mere følsomme for ydre påvirkninger. Nedgravning er ikke optimalt, da anlægget kræver meget tilsyn.

Det er desuden antaget, at kloakken, hvor overløbet fra tanken er tilsluttet, er fælleskloakeret og ikke separat, og at der ikke foregår nogen anden form for lokal rensning med efterfølgende nedsivning.

I de følgende to afsnit beskrives de to uønskede hændelser med tilhørende fejltræer.

10.3.1 Spildevand i den offentlige vandforsyning

Udgangspunktet for dette fejltræ er, at der ikke må komme spildevand i det offentlige vandforsyningsnet, da dette ville have en katastrofal konsekvens. Situationen er den samme som under beskrivelse af regnvandsanlæg, at decentrale alternative installationer, som et grävandsanlæg, vil være meget svære at spore ved bakteriel forurening i distributionssystemet, fordi distribuerede, evt. lejlighedsvis kilder er vanskelige at identificere.

Dette fejltræ dækker alle tænkelige måder, hvorpå spildevand fra et grävandsanlæg, opbygget efter principskitsen på Figur 10.1, kan komme i forbindelse med det offentlige vandforsyningsnet. Det skal igen bemærkes, at nogle af de beskrevne fejlmuligheder forudsætter, at der er foretaget ulovlige eller fejlagtige kortslutninger (sekundær betjeningsfejl).

På Figur 10.2 ses det opstillede fejltræ.

I det følgende beskrives fejltræet. Tekst i citationstegn henviser til de enkelte komponentfejl angivet i fejltræet. Beskrivelsen starter øverst i fejltræet.

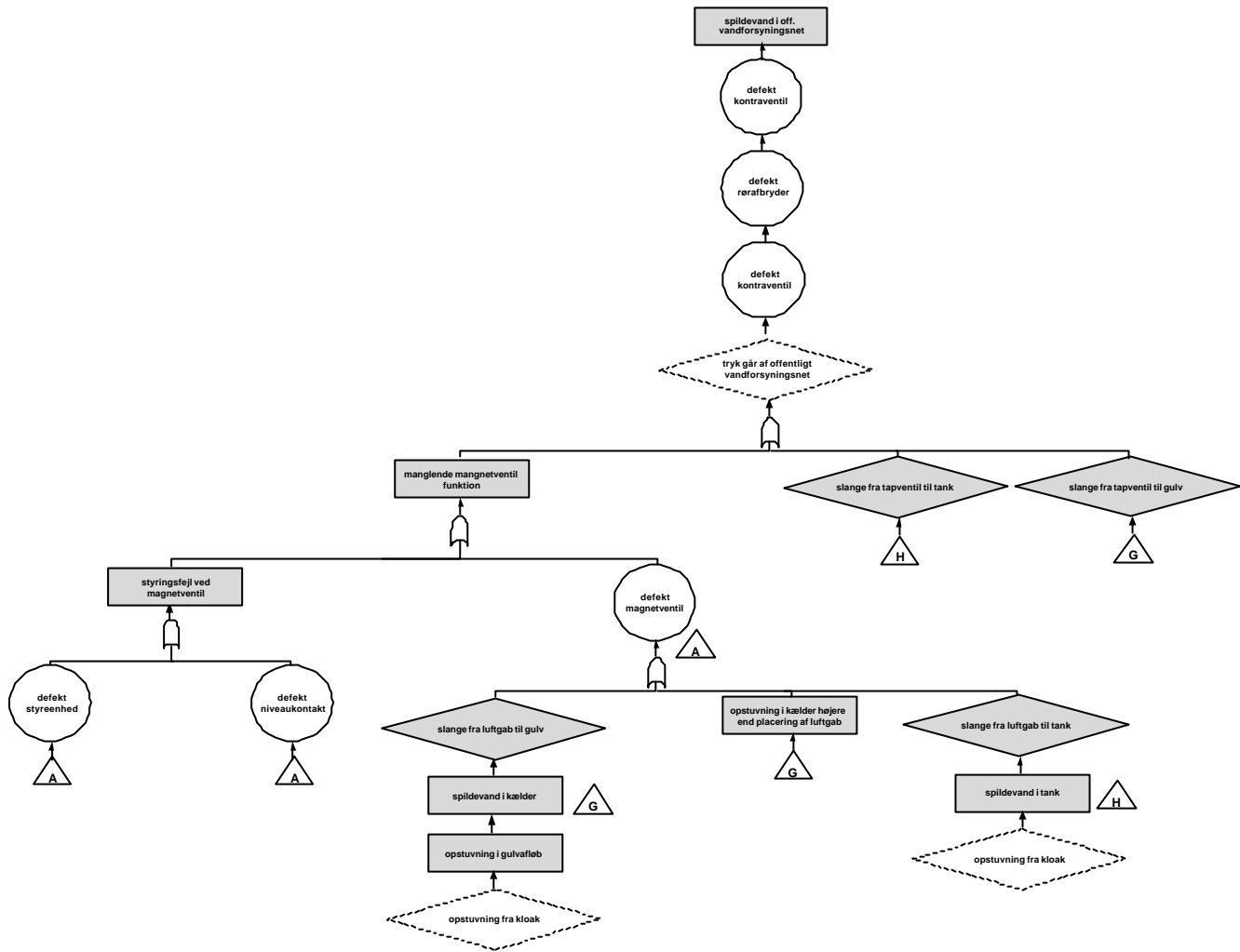
Beskrivelse af fejltræet

Øverst i fejltræet er placeret hovedkonsekvensen "spildevand i off. vandforsyningsnet". Dernæst er "defekt kontraventil", "defekt rørafbryder" og igen "defekt kontraventil" angivet. Den første kontraventil er den på stikledningen. Rørafbryderen er ligeledes placeret på stikledningen. Den næste kontraventil er enten den, der sidder i forbindelse med vandmåleren, der måler vandforbruget til efterfyldning i tanken, eller den kontraventil, der er placeret før tapventilen. Derefter følger "tryk går af offentligt vandforsyningsnet".

Fejltræet opdeles derefter i tre grene "manglende magnetventil funktion", "slange fra tapventil til tank" og "slange fra tapventil til gulv".

Manglende magnetventil funktion Forfølges først grenen "manglende magnetventil funktion", kan denne opdeles i "defekt magnetventil" og "styringsfejl ved magnetventil". Under "styringsfejl" opdeles træet igen i to grene, hvor den ene er "defekt styreenhed" og den anden er "defekt niveauekontakt". Enten kan niveauekontakten være defekt og sender dermed et forkert signal til den automatiske styreenhed, hvormed magnetventilen aktiveres forkert. Eller også kan den automatiske styreenhed være defekt og dermed sender et forkert signal til magnetventilen. Fejltræet under henholdsvis "defekt magnetventil", "defekt styreenhed" og "defekt niveauekontakt" er identiske. Derfor gennemgås kun den ene, hvilket er symboliseret med bogstavet "A".

Fejltræet opdeles igen For at hovedkonsekvensen skal opstå er det nødvendigt, at der enten sker en kortslutning til luftgab – enten ved "slange fra luftgab til gulv" eller ved "slange fra luftgab til tank" eller, at der sker "opstuvning i kælder højere end placering af luftgab". Forfølges først den sidste gren henvises til bogstavet "G".



Figur 10.2

Spildevand i det offentlige vandforsyningsnet. Fejl træet beskriver alle tænkelige muligheder for, at spildevand kan trænge ind i det offentlige vandforsyningsnet i forbindelse med etablering og drift af et "typisk" gråvandsanlæg.

Forfølges dernæst "slange fra luftgab til tank" er det nødvendigt, at der er trængt spildevand ind i tanken.

Spildevand i tank

"Spildevand i tank" kan ske ved, at der sker opstuvning fra kloakken. Opstuvningen skal dog være helt ekstrem.

Forfølges til sidst "slange fra luftgab til gulv" er det en forudsætning, at der er spildevand i kælderen.

Spildevand i kælder

"Spildevand i kælder" forårsages af opstuvning fra kloakken.

Vendes tilbage til "slange fra tapventil til tank" og "slange fra tapventil til gulv" henvises henholdsvis med bogstavet "H" og "G" til et andet sted i fejltræet.

Forstiller man sig, at man har tilkoblet en slange til tapventilen, da tanken f.eks. skal renses, og man ved et tilfælde glemmer denne i tanken eller, at slangen ligger løs i kælderen, så opstår der mulighed for kortslutning mellem spildevand og vandværksvandet, såfremt de ovennævnte fejl ligeledes er indtruffet.

I rapporten "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse" blev en af de farligste projekterings-/udførelsesfejl identificeret til at være en studs på regnvandssystemet. Dermed opstår der muligheder for at indføre en ekstra gren på fejltræet, der omhandler situationer, hvor trykket i det lokale genbrugssystem er større end trykket i den offentlige vandforsyning. Dette forudsætter, at der etableres en forbindelse nedstrøms pumpen i det lokale genbrugssystem mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. Dette er et vigtigt tilfælde at behandle under kvantificeringen, da dette viste sig at være den klart farligste situation for regnvandsanlæg.

10.3.2 Gråt spildevand i den offentlige vandforsyning

Udgangspunktet for dette fejltræ er, at der ikke må komme gråt spildevand ud i det offentlige vandforsyningsnet, da dette ville være kritisk. Denne konsekvens er sat lavere end, hvis spildevand trængte ud i det offentlige vandforsyningsnet, da bakteriekoncentrationerne er forskellige. Spildevand er klart det farligste tilfælde. Det kan her diskuteres, om det ikke var fordelagtigt at indføre en ekstra konsekvens, der var beliggende mellem katastrofal og kritisk. Bakteriekoncentrationen er højere i gråt spildevand end i regnvand, og er derved farligere at få ud i det offentlige vandforsyningsnet.

Fejltræet ses på Figur 10.3. For at følge opbygningen af fejltræet henvises til Figur 10.1, hvor principskiten af et gråvandsanlæg er angivet.

Hovedkonsekvensen

Øverst i fejltræet er hovedkonsekvensen "gråt spildevand i off. vandforsyningsnet" placeret. Dernæst er "defekt kontraventil", "defekt rørfbryder" og igen "defekt kontraventil" angivet. Den første kontraventil er den på stikledningen til den enkelte husstand. Rørfbryderen er ligeledes placeret på stikledningen. Den næste kontraventil er enten den, der sidder i forbindelse med vandmåleren, der måler vandforbruget til efterfyldningen i tanken, eller den kontraventil, der er placeret før tapventilen. Derefter følger "tryk går af offentligt vandforsyningsnet".

Fejltræet opdeles derefter i tre grene "manglende magnetventil funktion", "slange fra tapventil til tank" og "slange fra tapventil til gulv".

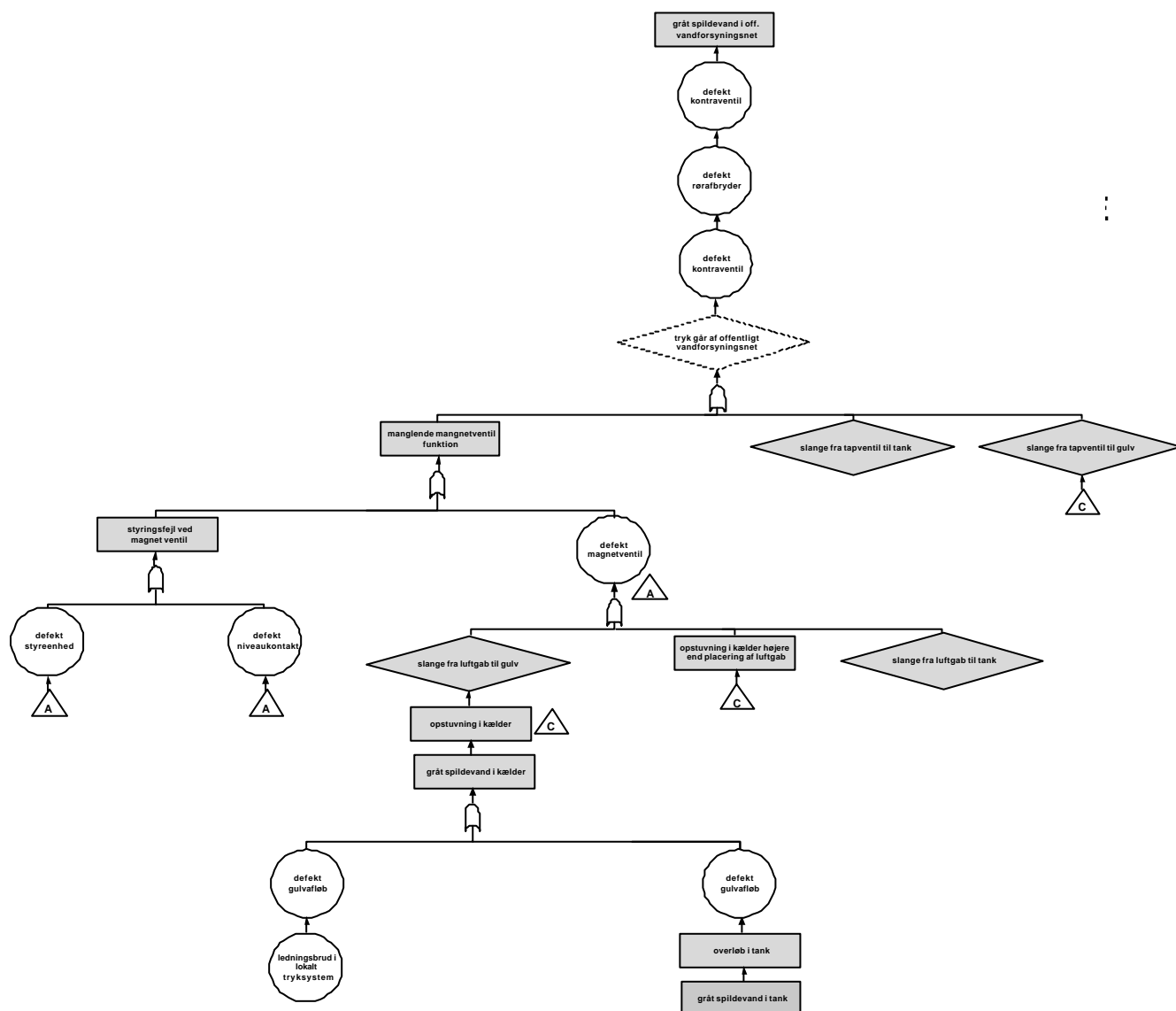
Forfølges først grenen med "manglende magnetventil funktion", kan denne opdeles i "defekt magnetventil" og "styringsfejl ved magnetventil". Under "styringsfejl ved magnetventil" opdeles træet igen i to grene, hvor den ene er "defekt styreenhed" og den anden er "defekt niveauekontakt". Enten kan niveauekontakten være defekt og sender dermed et forkert signal til den automatiske styreenhed, hvormed magnetventilen aktiveres forkert. Eller også kan den automatiske styreenhed være defekt og dermed sender et forkert signal til magnetventilen. Fejltræet under henholdsvis "defekt magnetventil", "defekt styreenhed" og "defekt niveauekontakt" er identiske. Derfor gennemgås kun den ene, hvilket er symboliseret med bogstavet "A". Fejltræet under disse to grene er identiske, derfor beskrives kun den ene del, symboliseret ved bogstavet "A".

For at hovedkonsekvensen skal opstå er det nødvendigt, at der enten sker en kortslutning til luftgab ("slange fra luftgab til gulv" eller "slange fra luftgab til tank") eller, at der sker "opstuvning i kælder højere end placering af luftgab". Ved den sidste gren henvises til bogstavet "C".

Kortslutning til luftgab Forfølges grenen "slange fra luftgab til gulv" er det en forudsætning, at der sker opstuvning i kælder.

Opstuvning i kælder For at "opstuvning i kælder" kan ske, er det nødvendigt, at der kommer gråt spildevand ud i kælderen. Det kan enten ske ved et ledningsbrud på det lokale system samtidig med, at gulvafløbet er defekt, eller der kan ske en opstuvning i tanken, hvorved gråt spildevand via overløbet fra tanken ledes til gulvafløbet samtidig med, at dette er defekt.

Forfølges grenen "slange fra luftgab til tank" er forbindelsen mellem vandværksvandet og det grå spildevand allerede skabt.



Figur 10.3 Gråt spildevand i den offentlige vandforsyning. Fejl træet beskriver alle tænkelige muligheder for, at regnvand kan trænge ind i det offentlige vandforsyningsnet i forbindelse med etablering og drift af et gråvandsanlæg.

Vendes tilbage til henholdsvis "slange fra tapventil til tank" og "slange fra tapventil til gulv", er forbindelsen allerede skabt ved "slange fra tapventil til tank" og ved "slange fra tapventil til gulv" henvises via bogstavet "C" til et andet sted i fejltræet.

Forstiller man sig, at man har tilkoblet en slange til tapventilen, da tanken f.eks. skal renses, og man ved et tilfælde glemmer denne i tanken eller, at slangen ligge løs i kælderen, så opstår der mulighed for kortslutning mellem det grå spildevand og vandværksvandet, såfremt de ovennævnte fejl ligeledes er indtruffet.

Det skal igen bemærkes, at i rapporten "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse" blev en af de farligste projekterings-/udførelsesfejl identificeret til at være en studs på regnvandssystemet. Dermed opstår der muligheder for at indføre en ekstra gren på fejltræet, der omhandler situationer, hvor trykket i det lokale genbrugssystem er større end trykket i den offentlige vandforsyning. Dette forudsætter, at der etableres en forbindelse nedstrøms pumpen i det lokale genbrugssystem mellem drikkevands- og regnvandsinstallationen. Dette er et vigtigt tilfælde at behandle under kvantificeringen, da dette viste sig at være den klart farligste situation for regnvandsanlæg.

10.4 Farligste fejlkombinationer/risiko

De farligste fejlkombinationer for grävandsanlæg er stort set i de samme som for regnvandsanlæg. Der skal blot indføres enkelte ekstra fejl, hvilket bevirker, at hyppigheden for, at de uønskede hændelser indtræffer, er mindre for grävandsanlæg end for regnvandsanlæg. Det vælges i denne analyse ikke at gå mere i detaljer med grävandsanlæg, da beregningerne stort set er de samme, samt at konsekvensvurdering via modelberegninger i EPANET ligeledes er de samme. Dette bevirker, at risikoen for forurening af den offentlige vandforsyning i forbindelse med projektering/konstruktion/drift/vedligeholdelse af et grävandsanlæg er betydelig mindre end for regnvandsanlæg.

Hvis det på et senere tidspunkt vælges at inddrage en forureningsgrad i beregningerne, således at der konsekvensmæssigt skelnes mellem spildevand, gråt spildevand og regnvand i den offentlige vandforsyning, kan risikoberegninger for grävandsanlæg behandles mere udførligt.

Konsekvensen ved at indføre en forureningsgrad vil bevirke, at der skal skelnes mellem, at f.eks. 2500 personer eksponeres for spildevand, gråt spildevand eller regnvand. På nuværende tidspunkt foretages der ikke en vægtning mellem eksponering af spildevand, gråt spildevand eller regnvand. Dette ligger ikke indenfor formålet og ressourcerne for dette projekt.

Det ovenstående indebærer, at behandlingen af grävandsanlæg stopper på nuværende tidspunkt her.

11 Konklusion

I denne rapport er der redegjort for en kvantitativ risikoanalyse på regnvandsanlæg og grävandsanlæg foretaget på baggrund af en kvalitativ risikoanalyse beskrevet i rapporten "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse".

Der er ved kvantificeringen hentet oplysninger fra databaser og producenter samt erfaringer fra et stort antal eksisterende regnvandsanlæg i såvel Danmark, Tyskland og England.

Genbrugsinstallationen er benyttet som fællesbetegnelse for regnvands-/grävandsinstallationer. Det skal dog bemærkes, at der ikke forefindes mange grävandsanlæg, og de anlæg, der eksisterer, kun er etableret på forsøgsbasis.

Ud fra kvantificeringen af risikoanalyse for regnvandsanlæg og grävandsanlæg samt besigtigelse af udvalgte eksisterende anlæg, kan følgende punkter fremhæves:

- ❑ Overholdes DS 439 og dermed Rørcentrets anvisning 003 for regnvandsanlæg er risikoen for forurening af den offentlige vandforsyning forsvindende lille.
- ❑ For at forurening af den offentlige vandforsyning med regnvand, spildevand eller gråt spildevand er en realitet, er det en forudsætning, at der etableres en fejlforbindelse mellem drikkevands- og genbrugsinstallationen. Der er i forbindelse med tilsyn af eksisterende anlæg registreret fejl ved det fri luftgab samt direkte forbindelser mellem drikkevands- og genbrugsinstallationen ved ca. 6 % af alle anlæggene. Erfaringen viser, at selvom alle anlægsdelene er leveret korrekt af leverandørerne, foretages der forkert installation af anlægsdelene. De i undersøgelsen medtaget anlæg er en blanding af gamle og nye anlæg.
- ❑ Det anbefales, at for alle grävandsanlæg, som tillades på forsøgsbasis, bør der som minimum stilles krav svarende til regnvandsanlæg.
- ❑ Kvantificeringen viser generelt, at hyppigheden for de uønskede hændelser, afhænger indirekte af hvor fejlforbindelsen mellem drikkevands- og genbrugsinstallationen etableres. I de fleste tilfælde foretages denne fejlforbindelse nedstrøms den kontraventil, der er placeret på stikledningen til den enkelte husstand. Kun et enkelt tilfælde i Odense, var fejlforbindelsen foretaget opstrøms denne. Tilbagestrømningssikringen var ikke etableret ved et eneste af de tilsete anlæg. Ud fra erfaringerne fra fejlforbindelserne, kan det konkluderes, at tilbagestrømningssikringen ville reducere risikoen for at få forurening ud i den offentlige vandforsyning betydeligt.
- ❑ Den farligste situation for anlæggene var ikke, som først forventet, at trykket går af den offentlige vandforsyning, og der dermed kan ske tilbagesug af forurenede vand. Den farligste situation er den, at pumpen i det lokale genbrugssystem leverer et tryk som kan pumpe forurenede vand direkte ud i den offentlige vandforsyning.
- ❑ Konsekvensen af de uønskede hændelser afhænger specifikt af den enkelte situation – især hvor i forsyningsnettet er genbrugssystemet

- placeret, på hvilket tidspunkt af døgnet sker forureningen. Desuden viser de teoretiske overvejelser, at antallet af eksponerede personer afhænger af pumpeområdets størrelse i anden potens. Jo større pumpeområder, jo flere personer eksponeres.
- ❑ Det anbefales, at der etableres et regelmæssig eftersyn – serviceordning – af regnvandsanlæggene, som skal foretages af fagfolk, således at eventuelle fejlforbindelser kan minimeres.
 - ❑ En målrettet risikokommunikation med leverandør af anlæggene samt ejerne af anlæggene anbefales ligeledes, da dette forventes at ville eliminere mange fejl.
 - ❑ Desuden viser erfaringerne, at folk generelt gerne vil have en mulighed for at koble genbrugssystemet fra, og køre på ordinært vandværksvand. Derfor anbefales det, at dette på en sikker måde indbygges som standard i anlæggene.
 - ❑ En beregning for gennemsnittet i Danmark, hvor der tages udgangspunkt i 5000 anlæg (fordelt på lav og høj fejlfrekvens) giver resultatet, at der vil ske ca. 300 eksponeringer per år. Der er dog knyttet en del usikkerhed til dette resultat. Benyttes en fordeling af lav og skønnet fejlfrekvens i stedet opnås ca. 5 eksponeringer per år. Et godt bud på et Danmarks resultat er, at der formodentligt vil ske et sted mellem 5 og 300 eksponeringer per år.
 - ❑ Til sidst skal det bemærkes, at genbrugssystemer kun er en af mange mulige forureningskilder på et distributionssystem. Derfor er det vigtigt at sammenligne med andre mulige forureningskilder, som f.eks. industri – først da vil det kunne vurderes, hvor stor risiko for forurening af den offentlige vandforsyning i forbindelse med genbrugssystemer kan give anledning til, i forhold til gældende praksis.

12 Litteraturliste

"Reliability, Maintainability and Risk - Practical methods for engineers", David J. Smith; Butterworth-Heinemann (1997) - ISBN 0-7506-3752-8

"Basic guide to System Safety", Jeffrey W. Vincoli (1993) - ISBN 0-442-01275-6

"Reliability and Risk Assessment", J.D. Andrews and T.R.Moss (1993) - ISBN 0-582-09615-4

"Risk Analysis for process plant and transport", J.R. Taylor (1994) ISBN 0-419-19090-2

"Hazard Identification and risk assessment" Geoff Wells (1997); ISBN 0-85295-353-4

"What every engineer should know about Reliability and Risk Analysis"; M. Modarres

"Environmental Risk Assessment: Approaches, Experiences and Informations Sources", R. Fairman, C.D. Mead, W.P. Williams; Environmental Issues Series No. 4; European Environment Agency; Copenhagen 1998. ISBN 92-9167-080-4

"Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit Regenwasser" , Gerhard Deltau (1998). ISBN 3-926897-00-7

"Ordbok for Sikkerhet og risikoanalyse", Universitetsforlaget, Rådet for teknisk terminologi (1984) ISBN 82-00-06902-8

"DIN 1989-1: Regenwassernutzungsanlagen. (Entwurf)" (2000). Deutsche Institut für Normung e.V

"W 555: Nutzung von Regenwasser (Dachablaufwasser) im häuslichen Bereich. (Entwurf)" (2000) Technische Regeln – Arbeitsblatt. DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

"Dachablaufwassernutzung: ein hygienischer, ökologischer und ökonomischer Irrweg" H.G. Moll, Gesundheits-Ingenieur Haustechnik – Bauphysik – Umweltechnik 115 (1994) heft 6.

"Auf Fehlersuche – Eine kritische Analyse ausgeführter Anlagen", K. König, Sanitär und Heizungstechnik 7 (1998)

”Dachablaufwassernutzungsanlagen: Hygienische Probleme”, W. Hentschel; U. Heudorf; Bundesgesundhbl. 4 (1996)

”Risikobewertung der Betriebswassernutzung aus Regenwasseranlagen”, F.K. Lücke, FB Haushalt und Ernährung, Fachhochschule, Fulda (1998)

”Mikrobiologisch-hygienische Aspekte bei der Nutzung von Regenwasser als Betriebswasser für Toilettenspülung, Gartenbewässerung und Wäschewaschen.” Holländer et al. Landesuntersuchungsamt für Chemie, Hygiene und Veterinärmedizin, Bremen

”Hygienische Aspekte der Regenwassernutzung” (1999). Dokumentation des fbr-Fachsymposiums in Fulda. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.

”Regenwassernutzung im Haushalt Abschlussbericht” (1998). Prof. K.-U. Rudolf, Gelsenwasser AG.

”Hygienische und technische Aspekte der Regenwassernutzung - anhand von Praxiserfahrungen aus der Stadt Wetzlar” (2000). G. Deltau, S. Christen, Im Auftrag des Magistrats der Stadt Wetzlar.

”Riskobewertung der Nutzung von Regen- und Dachablaufwasser - Literaturstudie” (1996). M. Borneff et al. Universität Heidenberg. Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg.

”Check et regnvandsanlæg – og find fem fejl”, H. Lorenzen, E.Nissen, E. N. Salling. VANDteknik 8 (2000).

”Lad regnvandet blive uden for huset”, I. Solomon, VANDteknik 7 (2000).

”Longevity of Pathogenic bacteria especially salmonella in cistern water”, S. Krampitz, R. Holländer. Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin, 202, 389-397 (1998/99)

”Process Water of Potable Quality: Sense or Nonsense? – A risk assessment of the use of rainwater for non-potable purposes” F.K. Lücke. Food Quality University of Applied Sciences, Fulda

”Fordeling af vandforbrug I de enkelte trykzoner og distrikter” (1997). Århus Kommunale Værker – Vandforsyningen.

”Ressourcebesparende vandinstallationer i boliger” (1999). Rørcenteranvisning 002, Rørcentret, Teknologisk Institut.

”Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger” (2000). Rørcenter-anvisning 003, Rørcentret, Teknologisk Institut.

Databaser:

"Component Reliability Data for use in Probabilistic Safety Assessment". A Technical Document issued by the International Atomic Energy Agency, Vienna, 1988

"T-book - Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants" (data fra 5 atomkraftværker i Sverige og Finland)

"Guidelines for Process Equipment Reliability Data with Data Tables". Center for Chemical Process safety of the American Institute of Chemical Engineers

"IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, Sensing Component and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear-Power Generating Stations", IEEE Std 500-1984
The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc

Følgende personer takkes for deres bidrag til projektet:

Dieter Fitsch, Wisy

Detlev Steinle, REWALUX

Dr. Holländer, Landesuntersuchungsamt für Chemie, Hygiene und Veterinärmedizin Bremen

Dr. Lücke, FB Haushalt & Ernährung, Fachhochschule Fulda

Professor Schoenen, Hygienische Institut, Bonn Universität

Palle Christensen, Risø

Gerhard Deltau, Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.