

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 18 1996

**Fordeler og ulemper ved
anvendelse af regnvand
i husholdninger**

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 18 1996

Fordele og ulemper ved anvendelse af regnvand i husholdninger

Carsten Rosted Petersen og Victoria Plum
Krüger A/S
Dorthe Bechmann
Statens Byggeforskningsinstitut

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

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

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

Indhold

Forord	5
Resumé og konklusion	7
English Summary	11
Indledning	15
1 Miljømæssig betydning	19
1.1 Vandforsyning	19
1.1.1 <i>Vandressourcer i Danmark</i>	19
1.1.2 <i>Boligerne andel af vandforbruget</i>	21
1.1.3 <i>Fordelingen af vandforbruget i boligerne</i>	21
1.1.4 <i>Anvendelsesmuligheder for regnvand</i>	21
1.1.5 <i>Vurdering af det samlede potentiale for udnyttelse af regnvand</i>	22
1.2 Miljøbelastning	24
1.2.1 <i>Sæbebehov ved vask i regnvand</i>	25
1.3 Regnvandsbetingede udledninger	26
1.3.1 <i>Beregningsmodeller</i>	26
1.3.2 <i>Overløb fra overløbsbygværker</i>	26
1.3.3 <i>Udledning fra separat regnvandssystem</i>	29
1.3.4 <i>Udledning gennem renseanlæg</i>	29
2 Sundhedsmæssige aspekter	31
2.1 Mikroorganismer i regnvandsanlæg	32
2.1.1 <i>Bakterier</i>	32
2.1.2 <i>Virus</i>	35
2.1.3 <i>Protozoer</i>	35
2.1.4 <i>Ormeæg</i>	35
2.1.5 <i>Alger</i>	35
2.2 Kemiske stoffer i regnvand	36
2.2.1 <i>Nedbørens indhold af kemiske stoffer</i>	36
2.2.2 <i>Tilførsel af stoffer fra tagflader</i>	36
2.2.3 <i>Indhold af stoffer i regnvand i samletanke</i>	38
2.3 Målinger af kemiske stoffer og organismer i regnvand	39
2.3.1 <i>Kemiske stoffer</i>	39
2.3.2 <i>Bakterier</i>	40
2.4 Drikkevandsforsyning	41

3	Tekniske aspekter 43
3.1	Valg af komponenter 44
3.2	Dimensionering af regnvandsbeholder 46
3.2.1	<i>Opsamling af regnvand</i> 46
3.2.2	<i>Dimensionering</i> 47
3.3	Lokal håndtering af regnvand 48
4	Økonomi 50
4.1	Etableringsomkostninger 50
4.2	Drift- og vedligeholdelsesomkostninger 51
4.3	Økonomiske betragtninger 52
5	Litteraturliste 55

Bilag:

1. Edb-modeller
2. Bakterier og protozoer i regnvand
3. Måling af pesticider i nedbør
4. Indhold af stoffer og organismer i nedbør
5. Indhold af stoffer og organismer i afløb fra tagflader
6. Indhold af stoffer og organismer i regnvand i samletank
7. Dimensionering af beholder

Forord

Projektet er udarbejdet af civilingeniør Carsten Rosted Petersen og akademiingeniør Victoria Plum, Krüger A/S og civilingeniør, Ph.D. Dorthe Bechmann, Statens Byggeforskningsinstitut. Projektet er udført i april-november 1995. Miljøstyrelsen har bidraget med viden om Mikroorganismer.

Projektet er blevet fulgt af en styregruppe, bestående af:

Hans-Jørgen Albrechtsen, Institut for Miljøteknik, DTU
Linda Bagge, Miljøstyrelsens Kemikaliekontor
Jørgen Beck, Danske Vandværkers forening
Erling Holm, Krüger A/S
Ejner Jerking, Bygge- og Boligstyrelsen
Elle Laursen, Sundhedsstyrelsen
Tina Otterstrøm, Miljøstyrelsens Depot- og grundvandskontor
(formand)
Kaj Ovesen, Statens Byggeforskningsinstitut
Sigrid Poulsen, Statens Serum Institut
Henning Sørensen, Københavns Miljø- og Energikontor

Resumé og konklusion

Fordele og ulemper ved anvendelse af regnvand i husholdninger er sammenfattet i et oversigtsskema sidst i dette afsnit.

Miljømæssig betydning

Grundvandsressourcer

Anvendelse af regnvand i husholdningerne betyder, at der skal indvindes mindre grundvand. Både grundvandsressourcer og forbrug er imidlertid forskellige fra landsdel til landsdel. I områder, hvor forbruget af grundvand nærmer sig den grundvandsressource, der er til rådighed, vil anvendelse af regnvand gavne drikkevandsressourcerne. I Hovedstadsregionen overstiger forbruget f.eks. langt grundvandsressourcerne.

En generel anvendelse af regnvand fra tagflader vil kunne reducere boligernes vandforbrug med ca. 18 %.

Regnvandsbetingede udledninger

Anvendelse af regnvand betyder, at udledningerne af opspædet spildevand fra fælleskloakerede afløbssystemer (via overløbsbygværker) til sører og vandløb bliver mindre. For separate regnvandsystemer vil udledningerne også blive mindre.

Udledningerne fra renseanlæg i forbindelse med nedbør bliver mindre, når der anvendes en del af regnvandet i oplandet. Beregninger i rapporten, udført på et teoretisk, simpelt opland, viser, at effekten kan blive fra 1 til 10 % reduktion af de samlede udledte vand- og stofmængder. Generelt set afhænger den miljømæssige effekt på de regnvandsbetingede udledninger af, hvor udbredt anvendelse af regnvand bliver.

Kombination af muligheder

Nedsivning af regnvand vil have en lignende miljømæssig effekt i forhold til både grundvandsdannelse og de regnvandsbetingede udledninger fra afløbssystemerne.

Det vil derfor være naturligt at kombinere de forskellige muligheder, så den miljømæssige effekt bliver størst mulig. Dette kan f.eks gøres ved at opsamle og anvende regnvand fra tagarealer og indbygge overløb fra regnvandsbeholderne til faskiner, hvor det overskydende regnvand kan nedsives.

Sundhed

Sundhedsmæssigt er der en række ulemper ved anvendelse af regnvand i husholdninger.

<i>Bakterier og kemiske stoffer</i>	Regnvand opsamlet fra tage kan bl.a indeholde mikroorganismer hidrørende fra dyr. Desuden kan der i det opsamlede regnvand forekomme forskellige kemiske stoffer fra atmosfæren, i nedbøren. Endelig kan der forekomme stoffer fra tagfladernes materialer.
<i>Drikkevandsforsyning</i>	Der er en potentiel risiko for, at en sammenblanding af regnvand og drikkevand kan forurene drikkevandsforsyningen.
	Teoretisk er der altså en vis risiko for sygdomstilfælde, som følge af anvendelse af regnvand. Der kendes dog ingen praktiske eksempler på sygdomssmitte fra regnvandsanlæg.
	Tekniske forhold
<i>Afløbssystem, regnvand</i>	Der er mulighed for at etablere områder uden separat regnvandssystem til afledning af regnvand.
<i>Tøjvask</i>	Den mindre hårdhedsgrad i regnvand betyder, at man kan anvende mindre sæbe i forbindelse med tøjvask.
<i>Andre forhold</i>	Der er en række tekniske forhold, der skal tages hensyn til ved etablering af regnvandsanlæg: ændring af rørføringer, pladsbehov, korrosion af rør- og beholdermaterialer, bundslam, algedannelse, eftersyn og vedligeholdelse, mærkning af rørsystem m.m.
<i>Perioder uden nedbør</i>	Det vil være nødvendigt at forsyne beholderen med drikkevand i perioder uden nedbør. Det skal her sikres, at der ikke kan ske tilbagestrømning af regnvand til drikkevandssystemet.
	Økonomi
<i>Samfundsøkonomi</i>	Samfundsøkonomisk kan det i dag normalt ikke betale sig at etablere anlæg til anvendelse af regnvand i husholdninger. Det er billigere at hente grundvand fra andre steder i landet til de hårdt belastede områder eller at gennemføre simple vandbesparende foranstaltninger. I forhold til afløbssystemerne kan omkostningerne til anvendelse af regnvand være mere end 10 gange større end for andre miljømæssige tiltag, f.eks. bassiner i afløbssystemerne eller lokal nedsivning. I nogle tilfælde, hvor det er meget bekosteligt at bygge bassiner, målt i forhold til den opnåede effekt, kan anvendelse af regnvand dog være en mulighed, som kan betale sig.
<i>Privatøkonomi</i>	Privatøkonomisk kan det normalt ikke betale sig at lave anlæg til anvendelse af regnvand i husholdninger. Tilbagebetalingstiden kan med de nuværende vandafgifter i gunstige tilfælde være 20 år. Hvis der dispenseres for vandaflledningsafgiften i en periode, som det er tilfældet i f.eks. Københavns kommune, vil tilbagebetalingstiden dog kunne komme ned på ca. 9 år. Med stigende priser på vand vil tilbagebetalingstiden blive kortere end de her angivne.

Da anvendelse af regnvand i høj grad er med til at give en bolig eller bebyggelse et grønt præg, er anvendelsen dog i praksis ofte ikke betinget af rentabilitet.

Konklusion

Udnyttelse af regnvandet kan umiddelbart synes at være en løsning som må gavne miljøet; der indvindes mindre grundvand og de regnvandsbetingede udledninger fra afløbssystemet reduceres. Der er imidlertid nogle forhold, der gør, at man ikke generelt kan anbefale en udstrakt anvendelse af regnvand i husholdninger. For de områder, hvor der er behov for at afhjælpe mangel på drikkevand er anvendelse af regnvand en mulighed. Men i mange situationer kan manglen afhjælpes billigere på andre måder. I tilfælde af en øget forurening af grundvandet kan disse forhold dog ændre sig.

Endvidere gælder det, at hvis vi også for regnvandsinstallationer vil opretholde den installationsstandard og det sundheds- og hygiejne-mæssige niveau, som vi har i den øvrige vandinstallation, så vil det i dag være vanskeligt at lave en regnvandsinstallation, som er økonomisk rentabel.

Fordele og ulemper ved anvendelse af regnvand i husholdninger

Emne	Fordele	Ulemper
Miljømæssig betydning	<p>Mindre indvinding af grundvand</p> <p>Mindre udledning af næringsstoffer til vandmiljøet med de regnvandsbetegnede udledninger både i fælles og i separatsystemer</p> <p>Reduceret behov for regnvandsbassiner</p> <p>Mindre belastning af renseanlæg under regn og dermed mindre anvendelse af energi og kemikalier</p> <p>Mindre sæbebehov ved vask, under anvendelse af regnvand</p> <p>Mindre hydraulisk belastning af vandløb med deraf følgende mindre erodering af vandløbssiderne m.m..</p> <p>Styrkelse af befolkningens miljøbevidsthed</p> <p>Mindre forbrug af energi ved grundvandsindvinding</p>	<p>Energiforbrug i forbindelse med distribution</p> <p>Evt. kemikalieforbrug i forbindelse medrensning og mod lugtgener</p> <p>Evt. energiforbrug i forbindelse medrensning</p> <p>Mindre vand i vandløb fra separate regnvandsudløb (kan også være en fordel)</p>
Sundhedsmæssige aspekter		<p>Risiko for spredning af sygdomme via regnvandet</p> <p>Risiko for sammenblanding af regnvand med drikkevand ved fejlagtig sammenblanding af rørsystemerne, og dermed risikoen for sundhedsmæssige problemer</p> <p>Mindre behov for drikkevand kan betyde længere opholdstid i forsyningsnettet, med evt. følgende kemiske og fysiske forandringer i drikkevandets kvalitet</p> <p>Risiko for tilbagesug af regnvand til drikkevandsforsyningen ved fejlinstallation</p>
Tekniske aspekter	<p>Mulighed for etablering af områder uden afløbssystemer for regnvand</p> <p>Separat regnvandssystem til afledning af regnvand</p>	<p>Ændring af rørføringen i eksisterende ejendomme.</p> <p>Pladsbehov til etablering af anlæg, herunder krav til opbevaringsforholdene, f.eks. tilgængelighed for vedligeholdelse af underjordisk magasin, samt krav til afløb fra kælder til forebyggelse af skader opstået som følge af lækkage i opbevaringsbeholder</p> <p>Mindre vand i afløbssystemerne til sikring af deres selvreningsevne</p> <p>Større udsving i det almen vandforbrug på grund af tilspænding af drikkevand i tørre perioder</p> <p>Risiko for korrosion af rør- og beholdermaterialer</p> <p>Behov for eftersyn og pasning (specielt af filtre) og rensning af beholdere (bundslam og algedannelse)</p>
Økonomi	<p>Reducerede omkostninger til etablering af regnvandssystemer og regnvandsbassiner</p> <p>Besparelser for husejerne i vandforsyningssafgift (evt. ikke afledningsafgift)</p>	<p>Omkostninger til etablering af anlæg inklusiv ændring af eksisterende rørinstallationer</p> <p>Omkostninger til drift (især pumper) og vedligeholdelse af filtre</p> <p>Evt. omkostninger til desinfektion af vandet</p> <p>Eventuelle udgifter til myndighedseftersyn</p>

English Summary

Summary and conclusion

Advantages and disadvantages in connection with usage of rainwater in households are listed at the end of this chapter.

Environmental influence

Ground water resources

Usage of rainwater in households implies that less ground water has to be collected. Ground water resources as well as consumption are, however different in various parts of the country. In areas where the consumption of ground water is close to the available ground water resources, the usage of rainwater will be useful to the drinking water resources. In the metropolitan area for example, the consumption is by far exceeding the ground water resources.

A general usage of rainwater from roof surfaces could reduce the water consumption of the households by approx. 18%.

Discharges conditioned by rainwater

The usage of rainwater implies that discharges of diluted wastewater from combined sewer systems (through overflow structures) to lakes and streams will be reduced. For separate rainwater systems, the discharges will be reduced as well.

The discharges from treatment plants in connection with rainfalls will be reduced when part of the rainwater in the catchment area is used. Calculations in the report, carried out on basis of a theoretical, simple catchment area, show that the result will be from 1 to 10% reduction of the total water and pollutant loads discharged. Generally, the environmental influence in relation to discharges conditioned by rainwater is dependent on the extension of the usage of rainwater.

Combination of potentials

Percolation of rainwater is having a similar environmental influence in relation to formation of ground water and discharges conditioned by rainwater from the sewer systems.

Consequently, it would be natural to combine the various potentials so that the environmental influence is biggest possible. This could for example be done by collecting and using rainwater from roof surfaces and build in overflows from the rainwater tanks to soakaways, where the excessive rainwater can percolate.

Health

From a health point of view, there are a number of disadvantages by using rainwater from households.

Bacteria and chemical substances

Rainwater collected from roof surfaces might among others contain micro-organism from animals, and moreover chemical substances from the atmosphere can be found in rainfalls. Finally, substances from the material of the roof surfaces might occur.

Drinking water supplies

There is a potential risk that a mixture of rainwater and drinking water might pollute the drinking water supplies.

Consequently, there is in theory a risk of illness cases as a consequence of usage of rainwater. There are, however, no examples in practice of infections of illness from rainwater systems.

Technical conditions

Sewer system, rainwater

It is possible to establish areas without separate rainwater systems for discharge of rainwater.

Laundering

The lower degree of hardness in rainwater implies that less soap has to be used in connection with laundering.

Other conditions

A number of technical conditions must be considered in connection with establishment of rainwater systems: change of piping arrangements, space requirements, corrosion of pipe and tank material, bottom sludge, formation of algae, inspection and maintenance, marking of pipe system etc.

Periods without rainfall events

It will be necessary to provide the tank with drinking water in periods without rainfall events. In this connection it must be ensured that reject flow does not take place to the drinking water system.

Financial conditions

Socioeconomics

From a socioeconomic point of view, it does not pay today to establish systems for usage of rainwater in households. It is cheaper to collect ground water from other places in the country for areas with heavy loads or to carry out simple water-saving measures. In relation to the sewer systems, the costs in connection with usage of rainwater can be more than 10 times bigger than for other environmental measures, for example tanks in the sewer systems or local percolation. In some cases, however, where it is very expensive to build tanks, calculated in relation to the result obtained, usage of rainwater could be a more profitable possibility.

From a private economics point of view, it normally pays to make systems for usage of rainwater in households. The repayment time with the present water rates will under favourable conditions be 20 years. In case of exemption from the discharge tax for a period, which is the case in for example the municipality of Copenhagen, the repayment time could be reduced to approx. 9 years. With the increasing prices of water, the repayment time will be shorter than the one indicated here.

As, however, the usage of rainwater is highly contributing to the green character of houses or residential quarters, the usage is in practice often not conditional on profitability.

Conclusion

The utilisation of rainwater offhand seems to be a solution which can be beneficial to the environments; less ground water is collected and the discharges conditioned by rainwater from the sewer system are reduced. There are, however, certain conditions which imply that an extended usage of rainwater in households is not recommended. For the areas where lack of drinking water has to be remedied, usage of rainwater could be a possibility. However, in many situations the lack of drinking water can be remedied in cheaper ways. In cases of an increased pollution of the ground water, these conditions might however change.

Furthermore it is a fact that if we also wish to maintain the installation standard and the health and sanitary level for rainwater installations which we are having in the remaining water installation, it will be difficult to make a rainwater installation today which is profitable.

Advantages and disadvantages in connection with usage of rainwater in households

Subject	Advantages	Disadvantages
Environmental influence	<p>Less collection of ground water</p> <p>Smaller discharge of nutrients to the aquatic environment with the discharges conditioned by rainwater, in the combined as well as in the separate systems</p> <p>Reduced requirement for rainwater tanks</p> <p>Smaller load on treatment plants during rain and consequently less use of energy and chemicals</p> <p>Less use of soap in connection with laundering by the use of rainwater</p> <p>Smaller hydraulic load on streams and consequently less erosion of the banks of the streams etc.</p> <p>Strengthening of peoples' concern for environmental protection</p> <p>Smaller consumption of energy and ground water collection</p>	<p>Energy consumption in connection with distribution</p> <p>Potential chemical consumption in connection with cleaning and against obnoxious smells</p> <p>Potential energy consumption in connection with cleaning</p> <p>Less water in streams from separate rainwater outlets (could also be an advantage)</p>
Health aspects		<p>Risk of spreading of illness through the rainwater</p> <p>Risk of mixing rainwater with drinking water through erroneous mixture of the pipe systems and consequently risk of health problems</p> <p>Smaller requirement for drinking water might imply longer retention time in the supply network and consequently chemical and physical changes in the quality of the drinking water</p> <p>Risk of reject flow of rainwater to the supply of drinking water due to wrong installation</p>
Technical aspects	<p>Possibility of establishing areas without rainwater</p> <p>Separate rainwater system for discharge of rainwater</p> <p>Reduced costs for the establishment of rainwater systems and rainwater tanks</p> <p>Savings for the house owners in the water supply tax (possibly not discharge tax)</p>	<p>Change of piping arrangement in existing houses</p> <p>Space requirement for establishment of the system, including requirements for the storage conditions, for example accessibility to maintenance of underground storage as well as requirements for runoff from basements for the prevention of damages occurring from leakages in the storage tank</p> <p>Less water in the sewer systems to secure their self-purification ability</p> <p>Bigger fluctuations in the normal water consumption due to addition of drinking water during dry weather periods</p> <p>Risk of corrosion of pipe and tank material</p> <p>Requirement for inspection and maintenance (especially of filters) and cleaning of tanks (bottom sludge and formation of algae)</p> <p>Establishment costs of the system inclusive of changes in the existing pipe installations</p> <p>Operation costs (especially pumps) and maintenance of filters</p> <p>Possible costs for disinfection of the water</p> <p>Possible expenses for inspection by the authorities</p>

Indledning

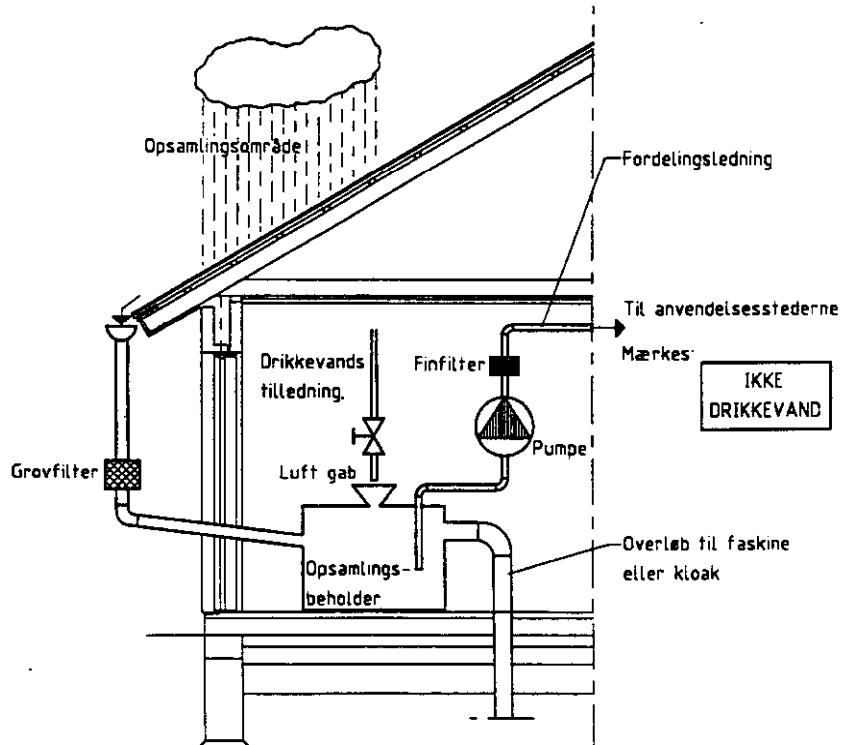
Formål

Formålet med dette projekt er at beskrive fordele og ulemper ved anvendelse af regnvand i husholdninger til toiletskyl og tøjvask. I projektet vurderes den miljømæssige betydning af brug af regnvand i forhold til vandforsyningssituationen og i forhold til forurening fra afløbssystemer og renseanlæg. Desuden gennemgås de sundheds-mæssige, tekniske og økonomiske aspekter, der er forbundet med at anvende regnvand i husholdninger.

På længere sigt kan projektet blive en del af grundlaget for opstilling af retningslinier og regler for anvendelse af regnvand i husholdninger.

Anvendelse af regnvand

Ved anvendelse af regnvand i husholdninger forstås, at der lokalt opsamles regnvand i en beholder, og at regnvandet anvendes i husholdningen.



Figur 0.1 Principiell bygning af regnvandsanlæg

Det hydrologiske kredsløb

Vandet i det hydrologiske kredsløb er i stadig bevægelse med solen som den drivende kraft. Vandet fordamper fra overfladerne, fortættes til skyer og falder ned som nedbør. En del af nedbøren fordamper efter fra overflader og planter. Resten strømmer enten overfladisk af til havet eller nedsiver gennem jordlagene og danner grundvand.

Enhver indgriben på et sted i det hydrologiske kredsløb vil i princippen få konsekvenser andre steder i kredsløbet.

Indvinding af grundvand er en indgriben i det hydrologiske kredsløb, som påvirker grundvandsspejl og den natrige grundvandsafstrømning.

Når vi bygger veje, huse mv. er det også en indgriben i det hydrologiske kredsløb, idet det regnvand, som rammer veje og tagflader m.v., afledes direkte til vandløb og søer gennem afløbssystemerne. Herved reduceres den natrige overfladeafstrømning og nedsivningen gennem jordlagene til grundvandet.

I forbindelse med kraftig nedbør vil vandløb og søer forurennes fra overløb i afløbssystemet eller forøget udledning gennem renseanlæg.

I forhold til det hydrologiske kredsløb betyder anvendelse af regnvand, at vi opsamler en del af det regnvand, som ellers ville være løbet til afløbssystemet, samt at indvindingen af grundvand reduceres med samme størrelse. Udbredt anvendelse af regnvand vil således betyde mindre afledning af regnvand gennem afløbssystemerne og mindre indvinding af grundvand. Spildevandsmængden til afløbssystemet vil være uændret.

Anvendelse af regnvand bør ses i relation til andre alternativer som f.eks lokal nedsivning af regnvand og vandbesparende foranstaltninger. Disse foranstaltninger vil have en lignende effekt på afledningen af regnvand i afløbssystemerne og indvindingen af grundvand.

I dette projekt er den miljømæssige betydning af anvendelse af regnvand i forhold til grundvandsressourcerne vurderet ud fra en videnbearbejdning af eksisterende materiale, mens den miljømæssige betydning i forhold til afløbssystemerne er vurderet ved konsekvensberegninger med edb-programmet MOUSE-SAMBA.

Sundhed og teknik

Ved anvendelse af regnvand er der en række sundhedsmæssige og tekniske aspekter, som skal tages i betragtning, når man skal vurdere, hvorvidt anvendelse af regnvand er hensigtsmæssig og fordelagtigt.

I sundhedsmæssig sammenhæng er der indsamlet og bearbejdet viden om risiko for sygdomme hidrørende fra opsamlet regnvand i forbindelse med hudkontakt eller indånding (aerosoler), idet det er forudsat, at opsamlet regnvand kun anvendes til toiletskyl og eventuelt til tøjvask.

Der er endvidere listet en række tekniske forhold, som skal tages i betragning ved anvendelse af regnvand. Det vil være valg af komponenter, dimensionering af opsamlingsbeholder, hydroforanlæg, tilslutning af drikkevandsforsyning (til supplering, når beholderen er tom), mærkning af rør osv.

Det er væsentligt, at der opstilles regler og retningslinier, så det både sundhedsmæssigt og teknisk er forsvarligt at anvende regnvand.

Økonomi

Økonomisk set er der flere forskellige synsvinkler på anvendelse af regnvand. Udbredelsen af regnvandsanvendelse vil normalt være bestemt af, om det privatøkonomisk kan betale sig eller ej. Den privatøkonomiske synsvinkel er afhængig af politiske beslutninger, f.eks. m.h.t. afgiftspolitik. Det er derfor væsentligt at se anvendelse af regnvand i en bredere økonomisk - herunder samfundsøkonomisk - sammenhæng og vurdere både fordele og ulemper, inden der fastlægges en politik på området. Disse forhold er bl.a. belyst ved gennemregning af en række eksempler og sammenligning med andre miljømæssige tiltag.

1. Miljømæssig betydning

1.1 Vandforsyning

1.1.1 Vandressourcer i Danmark

Der findes mange forskellige opgørelser over vandressourcerne i Danmark. Ressourcernes størrelse er vanskelig at opgøre præcist, og der foreligger ikke en ensartet metode til opgørelse af denne.

Nyere opgørelser udarbejdet af Vandrådet er mere pessimistiske end opgørelser foretaget af amterne, men de er formentlig mere realistiske, når alle parametre tages i betragtning. Ressourcerne vurderedes i 1990 i de 2 opgørelser at være /1/:

Amternes vurdering:	3,0 mia. m ³ /år
Vandrådets vurdering:	1,8 mia. m ³ /år

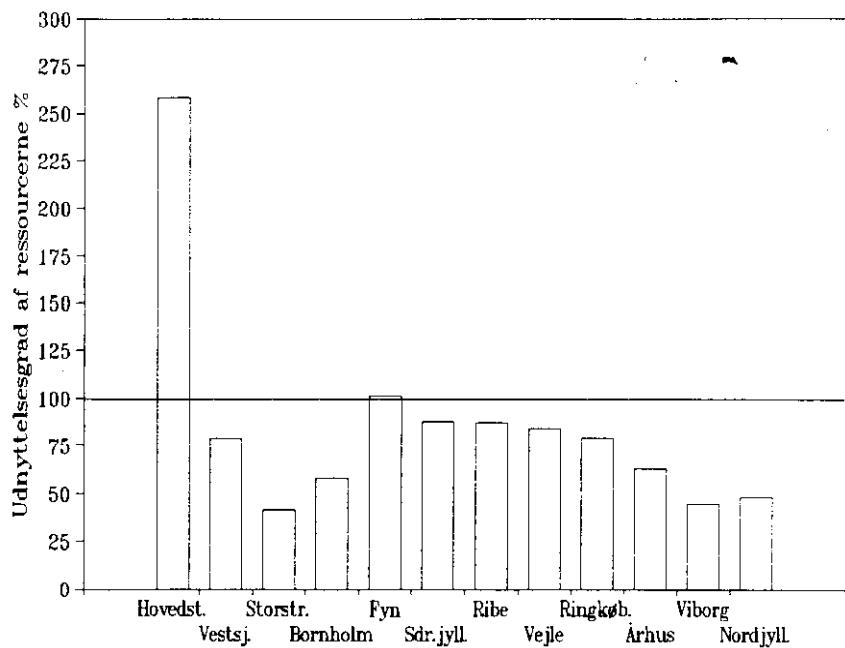
I disse opgørelser er forureningsmæssige begrænsninger ikke inddraget. Disse forhold vil formindske den udnyttelige ressource.

Ved vurdering af størrelsen af de udnyttelige ressourcer bør man sikre sig, at der er en vis reserve til rådighed som sikkerhed ved uforudset forurening o.l.. Samtidig peger undersøgelser på, at vi er inde i en periode (20-30 år) med relativt store nedbørsmængder, og at der kan opstå perioder med mindre nedbør, end vi har i dag. Sådanne klimaforandringer er det ikke muligt at forudsige, /2/.

I figur 1.1 er der taget udgangspunkt i Vandrådets skøn over ressourcerne, og samtidig er der taget udgangspunkt i, at nedbøren er reduceret 50 mm i forhold til i dag. Figuren viser den nuværende indvinding i relation til de reducerede forventninger til ressourcernes størrelse. Det fremgår, at indvindingen i store dele af landet nærmer sig ressourcernes størrelse. Indvindingen i Hovedstadsregionen overstiger langt de dannede ressourcer, hvilket jo heller ikke er overraskende, da mange vandløb i regionen udtørrer fuldstændigt i sommermånederne. Opgørelsesmetoden kan betegnes som en simpel, konservativ metode. Dette skøn er det for tiden mest pessimistiske skøn over ressourcesituationen. I skønnet er der set bort fra evt. forurening /3/.

Kvalitet

Kvaliteten af ressourcerne er truet, dels af forurening fra stoffer, der fra overfladen trænger ned gennem jordlagene, dels af overudnyttelse. En sænkning af grundvandsspejlet kan føre til udvaskning af stoffer fra jordlagene, som trænger ned og forurener grundvandet. Tillige kan en sænkning af grundvandsspejlet føre til, at der trænger saltvand ind i de kystnære områder og i områder, hvor der er salthorste i undergrunden.



Figur 1.1
Vandressourcer og vandindvinding. Reduceret nedbør, /3/.

Sikring af, at de fremtidige ressourcer forbliver rene, omfatter derfor både en

- reduktion af overudnyttelsen og
- beskyttelse af ressourcerne mod forurening fra overfladen.

En reduktion af overudnyttelsen kan enten ske ved at sprede indvindingen over større arealer end tilfældet er i dag, eller det kan ske ved en reduktion af forbruget.

Reduktion af forbruget i boligerne kan foretages på mange måder:

- Installation af vandmålere
- Installation af vandbesparende komponenter
- Anvendelse af regnvand
- Genanvendelse af spildevand

Installation af målere er først og fremmest et redskab, som kan give et incitament til at få brugerne til at reducere forbruget.

Installation af vandbesparende komponenter er normalt den billigste måde at reducere forbruget på, ikke mindst hvis brugerne samtidig opnår en reduktion i energiforbruget, som følge af et mindre forbrug af varmt vand. Anvendelse af regnvand er derfor først aktuelt, når forbruget er reduceret gennem installation af vandbesparende komponenter.

1.1.2 Boligernes andel af vandforbruget

Boligernes andel af det samlede forbrug varierer betydeligt fra landsdel til landsdel, jf. tabel 1.1. I de befolkningstunge dele af landet er boligernes andel af forbruget langt større end i de tyndt befolkede dele i f.eks. Vestjylland, hvor forbruget domineres af landbrugets markvanding.

	Vandforbruget i boligerne mio.m ³ /år	Samlet indvinding mio.m ³ /år	Boligernes andel af samlet forbrug %
Hovedstadsregionen	95	162	59
Vestsjælland	24	49	49
Storstrøm	12	30	40
Bornholm	3,6	8,2	44
Fyn	32	65	49
Sønderjylland	12	116	10
Ribe	17	147	12
Vejle	26	113	23
Ringkøbing	14	215	7
Århus	33	85	39
Viborg	16	68	24
Nordjylland	31	92	34
Ialt	317	1150	28

Tabel 1.1:

Tabellen viser boligernes andel af forbruget i de forskellige regioner af landet. Det fremgår, at en reduktion af forbruget i boliger i nogle amter vil kunne få stor betydning, mens en reduktion andre steder er stort set uden betydning for den samlede indvinding /4/.

1.1.3 Fordelingen af vandforbruget i boligerne

Vandforbruget i boliger falder i disse år. Det udgør 150-170 liter/-person/døgn, hvilket svarer til 55-60 m³/person/år /4/. Det antages at forbruget omrentligt fordeler sig således:

Bad og håndvask	45 liter
WC-skyning	40 liter
Vask	10 liter
Opvask/rengøring	25 liter
Mad/drikke	20 liter
Øvrigt, lækage og lign. i boliger	10-30 liter
Ialt	150-170 liter

1.1.4 Anvendelsesmuligheder for regnvand

Der er naturligvis store individuelle forskelle på vandforbruget, og ovenstående tal skal derfor kun betragtes som vejledende. Kun en mindre del af forbruget fordrer altid drikkevandskvalitet. Andre dele kan formentlig dækkes af vand af mindre god kvalitet. Det drejer sig især om vand til WC-skyning og til vaskemaskiner.

Regnvandsanvendelse

Regnvand kan i boligområder på meget simpel måde opsamles og anvendes til havevanding. Dette indebærer imidlertid det problem, at det netop er i de perioder, hvor det ikke regner, at der er behov for vanding. Der vil derfor ofte ikke være tilstrækkelige ressourcer til rådighed til at dække behovet for vand til vanding.

Opsamling af regnvand til anvendelse til WC-skylling og til vask kan derfor være et alternativ. Forbruget til disse formål er stort set konstant hele året. Jf. ovenstående oversigt udgør forbruget til WC-skylling og vask ca. 1/3 af det samlede vandforbrug. Hvis der er tilstrækkeligt med opsamlingsareal til rådighed, vil en boligs forbrug altså kunne reduceres med ca. 33 %.

Nedbørsmængden varierer i Danmark fra sted til sted og fra år til år, men ligger typisk omkring 600 mm. Det årlige forbrug til WC-skylling og vask ($18\text{m}^3/\text{person}/\text{år}$) svarer dermed til den vandmængde, der årligt maksimalt kan opsamles på 30 m^2 tagflade. En del af vandet går dog tabt som følge af fordampning og befugtning af tagfladen. I de fleste enfamilieboliger vil størstedelen af forbruget til WC og vask kunne dækkes med regnvand, mens regnvand i etageboliger kun vil kunne dække en mindre del af forbruget.

Potentiale

1.1.5 Vurdering af det samlede potentiale for udnyttelse af regnvand
Potentialet, for hvor stor en del af forbruget af vand, der kan dækkes ved udnyttelse af regnvand, kan bestemmes ud fra de tagflader, som er til rådighed i boligområderne og nogle antagelser om

- hvilken andel af tagfladerne, der kan inddrages som opsamlingsareal
- hvor meget regnvand, der kan opsamles i regnvandsbeholdere.

En del tagflader kan ikke inddrages til opsamling af regnvand, fordi de er placeret langt fra det sted, hvor regnvandet skal anvendes, hvorved det derfor er meget omkostningsfuldt at inddrage dem. I nogle bygninger vil det være vanskeligt, at etablere en ny rørføring og at ændre den eksisterende på grund af pladsforholdene. I heldigste fald skønnes det derfor, at det maksimalt vil kunne lade sig gøre at udnytte 75 % af boligernes tagflader som opsamlingsareal.

Den andel af regnvandet, som kan udnyttes, afhænger af et samspil af mange faktorer:

- Tagfladens areal sammenholdt med forbrugets og beholderens størrelse.
- Fordampningen fra tagflader.
- Nedbørens varighed og fordeling over året.

Beregninger senere i rapporten (afsnit 3.2) viser, at man højest kan påregne at kunne opsamle 450 mm regn ud af en årlig nedbørsmængde på 550 mm (dvs. ca. 80%).

Den regnvandsmængde, som kan opsamles i regnvandsbeholdere, vil yderligere være reduceret (til mellem 35% og 70% af den årlige nedbør) afhængig af både beholdervolumen og forbrug. Det skyldes, at regnsvandene er ujævnt fordelt over året, hvorved en del af det opsamlede regnvand løber ud via beholderens overløb.

I praksis er der dog rapporteret om væsentligt større udnyttelse - omkring 95% af nedbørsmængden i etageejendom /5/, /6/.

Forskellen kan ligge i, at der i praksis netop er valgt ejendomme med særlige gunstige forhold. Desuden er de praktiske eksempler fra etageejendomme, hvor muligheden for udnyttelse er størst p.g.a. stort forbrug. I en-familieshuse er det lille forbrug en begrænsende faktor, da regnvandsbeholderen ofte vil være tæt på fyldt, når det begynder at regne.

I nedenstående beregning i tabel 1.2 er det valgt at tage udgangspunkt i en udnyttelsesgrad på 80% af nedbørsmængden. De beregnede vandmængder må betragtes som de maksimalt opnåelige.

	Bebygget areal boliger 1993 mio. m ²	Maksimalt udnytteligt regnvands- mængde mio. m ³ /år
Hovedstadsregionen	43,8	14,5
Vestsjælland	10,7	3,4
Sjælland	10,6	3,4
Bornholm	1,9	0,6
Fyn	17,6	5,8
Sønderjylland	10,5	3,3
Ribe	8,5	2,8
Vejle	12,5	4,1
Ringkøbing	11,0	3,6
Århus	20,4	6,7
Viborg	9,7	3,2
Nordjylland	19,2	6,3
	176	58

Tabel 1.2:

Tabellen viser en beregning af den udnyttelige regnvandsmængde i Danmarks amter. Beregningerne er udført under forudsætning af at 75% af boligernes tagflader inddrages som opsamlingsareal og under forudsætning af, at 80% af den vandmængde, der afstrømmes, udnyttes. Værdierne i tabellen må betragtes som de maksimalt opnåelige regnvandsmængder, der kan opsamles på boligers tagflader. (Data om boligarealer: Danmarks Statistik).

Med udgangspunkt i dette skøn kan man konstatere, at den maksimale reduktion i boligernes samlede vandforbrug, ved en generel indførelse af regnvand, vil være ca. 18%.

1.2 Miljøbelastning

Udnyttelse af regnvand kan i visse tilfælde indebære nogle miljøbelastninger, f.eks. energi til drift af pumper og evt. desinficerende UV-bestråling. Desuden kan der anvendes andre kemikalier i forbindelse med desinfektion.

Energiforbrug

Energiforbruget i forbindelse med regnvandsanlæg består i energi til pumper eller hydrofor i bygningen. Der er målt energiforbrug på omkring 0,5 kWh/m³, /5/.

En sammenligning af dette forbrug med det forbrug af energi, som finder sted i en traditionel vandforsyning er vanskelig, fordi der er meget store forskelle fra vandforsyning til vandforsyning. I meget generelle tal er størrelsen af energiforbruget i forbindelse med vandforsyning følgende (der forekommer store variationer på disse tal):

Regnvand

Distribution af regnvand: ca. 0,5 kWh/m³ /5/

Drikkevand

Indvinding og distribution: ca. 0,37 kWh/m³ (0,1-1,1 kWh/m³) /7/

Ved at opsamle og anvende regnvand spares den energi, som ellers skulle anvendes til indvinding og distribution af drikkevand. Tillige spares den mængde energi, som evt. anvendes til rensning af regnvandet. I mange tilfælde ledes regnvand dog uden om renseanlæggene, via overløbsbygværker eller via separat regnvandssystem til recipient.

Set i sammenhæng med indvinding og distribution er der altså tilsyneladende tale om et merforbrug af energi. Det er derfor sandsynligt, at udnyttelse af regnvand er relativt neutralt, hvad energiforbrug angår, selv om det i visse områder (specielt større byer, hvor energiforbruget til distribution af drikkevand er lavt) indebærer et mindre merforbrug. Det skal bemærkes, at energiforbruget ved indvinding og distribution er lille sammenlignet med forbruget i forbindelse med f.eks. opvarmning af vand, /4/.

Kemikalier

Der findes ikke megen litteratur og studier om brugen af kemikalier i regnvandsanlæg. I de anlæg, som indtil videre er etableret i Danmark, har der, så vidt vides, ikke været anvendt kemikalier. Et enkelt anlæg hvori der anvendes kloring, er dog etableret /8/, /9/.

I Japan, hvor regnvandsanlæg er mere udbredt, anvendes derimod ofte klor til at begrænse bakterie- og algevækst i anlæggene.

UV-bestraaling

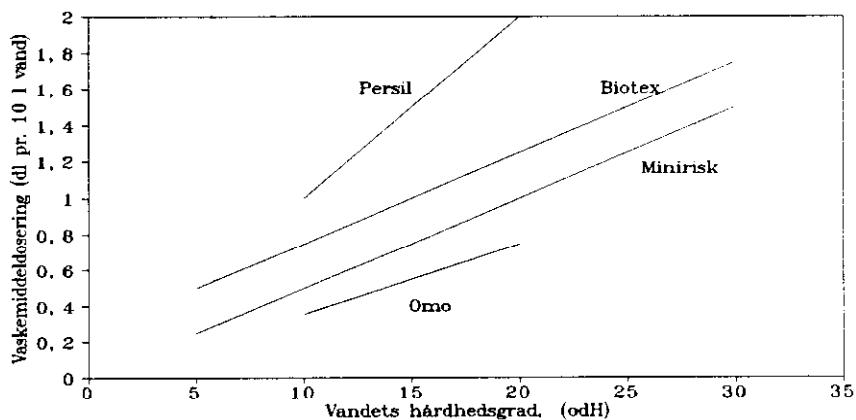
UV-bestraaling er en anvendt metode til desinfektion af vand. De energimæssige omkostninger er relativt store, skønsmæssigt af størrelsesordenen 3-4 kWh/m³, /10/, men metoden har til gengæld den fordel, at der ikke er kemikalierester i vandet. Det er nødvendigt til stadighed at cirkulere vandet gennem UV-anlægget, da der løbende sker opformering af bakterier i beholderen. Energiforbruget pr. leveret vandmængde er derfor større, end tallene antyder. UV-bestraaling forudsætter, at vandet er helt klart.

Der er ikke fundet egentlige vurderinger af den miljømæssige betydning af kemikalieanvendelse, især klor og ozon. Umiddelbart kan man i den forbindelse pege på problemer med f.eks. håndtering af hypochlorit, eftervækst af bakterier, som følge af kloring og dannelse af trihalomethaner.

Der bør derfor forinden en eventuelt større udbredelse af regnvands-anlæg foretages en "livscyclusvurdering" af mulighederne med henblik på at finde frem til de mest miljøneutrale løsninger. Som udgangspunkt bør løsninger, som ikke indebærer kemikalier, foretrækkes.

1.2.1 Sæbebehov ved vask i regnvand

Vandets hårdhed har betydning for vaskemiddelforbruget i vaske-maskiner i figur 1.2. Regnvand er sammenlignet med grundvand betydeligt mindre hårdt (2-8°dH), og der vil derfor være behov for en meget mindre mængde vaskemiddel.



Figur 1.2:

Figuren viser eksempler på dosering af vaskemiddel under hensyntagen til vandets hårdhed. Hårdheden i grundvand er i Vestjylland 5°dH-10°dH, Thy og Østjylland 10-15 og Øerne 15°dH-20°dH og nogle steder endnu højere (f.eks. Frederiksberg). Til sammenligning er hårdheden på regnvand mellem 2°dH og 8°dH. /4/

Dette vil have en gavnlig virkning for vandmiljøet, hvor vaskemiddelforbruget trods renseanlæg forsat udgør en belastning.

1.3 Regnvandsbetingede udledninger

Når man opsamler og anvender regnvand til toilet, tøjvask eller havevanding m.m., forhindrer eller forsinker man i realiteten regnvandets direkte afstrømning til afløbssystemet.

Hvis alt regnvand, der falder på et tag, anvendes til ovennævnte formål eller afledes lokalt, svarer det dermed til, at der fjernes en del af det befæstede areal fra afløbssystemets opland.

Fælleskloakerede oplante

Anvendelsen af regnvand vil reducere den regnvandsbetigede forurening fra overløbsbygværker og renseanlæg. Effekten afhænger af, i hvor stor en udstrækning der anvendes regnvand, dvs. hvor stort et befæstet areal, der fjernes.

MOUSE/SAMBA

1.3.1 Beregningsmodeller

Der er lavet modelberegninger med edb-programmet MOUSE-/SAMBA for at vurdere effekten af at anvende regnvand, både med hensyn til aflastninger fra overløbsbygværker i fællessystemer og udledninger fra renseanlæg i fælleskloakerede oplande.

Beregningmodeller

Der er lavet beregninger med følgende modeller:

1. Model, hvor der ikke anvendes regnvand i husholdninger.
2. Model, hvor der anvendes regnvand opsamlet fra hustage. Alt opsamlet regnvand udnyttes eller nedsives.
3. Model, hvor der anvendes regnvand. Det regnvand, der ikke er plads til i regnvandsbeholderen, kan via overløb løbe over i afløbssystemet.

Principskitser af de opstillede modeller findes i bilag 1.

Betydning af regnvandsanvendelse

1.3.2 Overløb fra overløbsbygværker

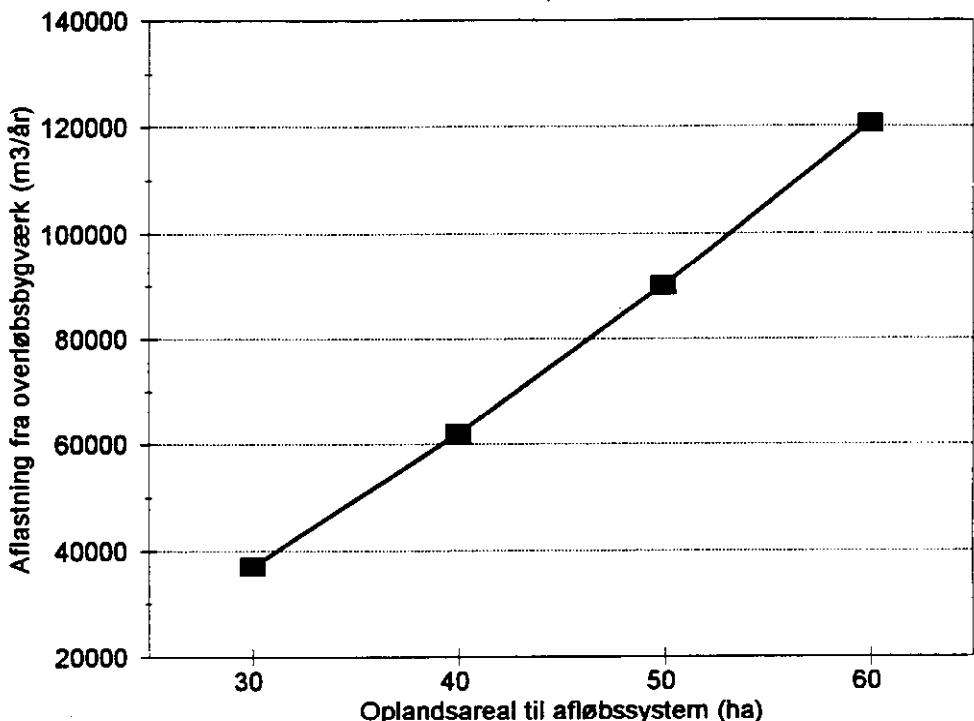
Anvendelse af regnvand reducerer overløbsmængderne fra overløbsbygværker i fælleskloakerede oplande. Hermed reduceres de udledte vandmængder og dermed de udledte næringsstofmængder.

Effekt af at anvende regnvand

Effekten af at anvende regnvand øges jo flere huse i et opland, der anvender regnvand, fordi det areal, som afvander regnvand til afløbssystemet, bliver mindre.

Beregningerne viser desuden, at effekten er afhængig af, hvordan det enkelte overløbsbygværk er dimensioneret. Effekten er størst for overløbsbygværker med store afløbstal a_0 (afløbskapacitet i forhold til oplandsareal).

Effekten kan ses af figur 1.3, hvor de årlige overløb fra et overløbsbygværk er beregnet på forskellige størrelser oplandsareal (befæstet areal). Der er valgt et middelstort afløbstal, a_0 , for overløbsbygværket.



Figur 1.3

Årlig aflastning fra overløbsbygværk med afløbskapacitet 180 l/s ($a_0 = 0,3 \mu\text{m}/\text{s}$) hvor det befæstede oplandsareal er hhv. 60, 50, 40 og 30 ha.

Sammenligning med forsinkelsesbassin

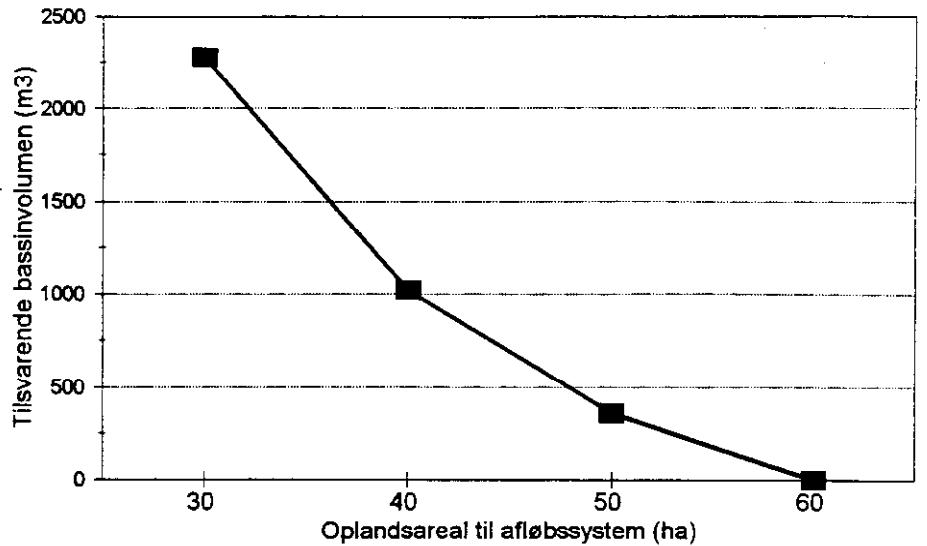
Traditionelt reduceres overløbsmængder fra overløbsbygværker ved at bygge forsinkelsesbassiner.

Effekten af at anvende regnvand kan altså sammenlignes med et bassinvolumen, som giver tilsvarende reduktion af overløbsmængder fra overløbsbygværker.

Figur 1.4 viser en sammenligning af regnvandsanwendung og traditionelt forsinkelsesbassin. Regnvandsanwendungen er udtrykt ved det oplandsareal, som stadig er tilsluttet afløbssystemet, og forsinkelsesbassinet er udtrykt som tilsvarende bassinvolumen.

Hvis oplandsarealet, ved anvendelse af regnvand, kan reduceres fra 60 til 30 ha. vil det tilsvarende bassinvolumen være ca. 2300 m^3 .

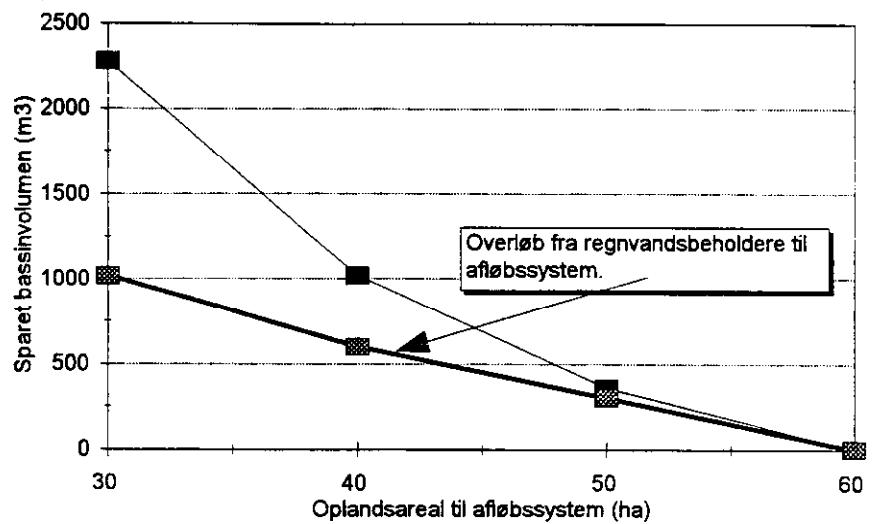
Yderligere resultater af modelberegningerne er vist i bilag 1.



Figur 1.4:

Sammenligning af regnvandsanvendelse og traditionelt forsinkelsesbassin. Regnvandsanvendelsen er udtrykt ved det oplandsareal, som stadig er tilsluttet afløbssystemet, og forsinkelsesbassinet er udtrykt som tilsvarende bassinvolumen.

De ovenstående vurderinger er baseret på, at alt regnvand fra de befæstede arealer, hvor der anvendes regnvand, fjernes fra afløbsystemet. Dvs. anvendes i husholdninger eller nedsvives lokalt.



Figur 1.5

Effekt af regnvandsanvendelse. Øverste kurve viser effekten hvis alt opsamlet regnvand forbruges eller nedsvives. Nederste kurve viser effekten, hvis regnvandet opsamles i en beholder på $4 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ tag, hvor der er overløb til afløbssystem og anvendes til toiletskyl. Afløbstal $a_0 = 0,3 \mu\text{m/s}$.

Hvis der indbygges overløb fra regnvandsbeholderne til afløbssystemet, vil effekten være mindre. Dette er illustreret i figur 1.5 (der vil normalt altid af sikkerhedshensyn være et overløb fra regnvandsbeholderen, med mindre man bygger meget store beholdere).

Resultaterne her er beregnet for et teoretisk (simpelt) opland. Der kan være meget store forskelle fra opland til opland, afhængigt af afløbssystemets størrelse m.m. Især i større oplande kan forsinkelser i afløbssystemet have afgørende betydning for resultaterne.

1.3.3 Udledning fra separat regnvandssystem

I separate regnvandssystemer vil anvendelse af regnvand betyde en reduktion af udledningerne til recipienterne. Reduktionen vil være proportional med størrelsen af det befæstede areal, der "fjernes" fra oplandet. Dvs. hvis 1/3 af oplandet opsamler regnvand, vil udledningerne til recipienten fra det samlede regnvandssystem blive reduceret med 1/3.

1.3.4 Udledning gennem renseanlæg

Ved anvendelse af regnvand vil udledningen gennem renseanlæg i forbindelse med nedbør blive reduceret. Reduktionens størrelse afhænger af, fra hvor stor en procentdel af hustagene, der opsamles regnvand.

Den samlede årlige tørvejrsspildevandsmængde til et renseanlæg er stor, i størrelsesordenen 65-85 % af det årlige samlede tilløb af spildevand og regnvand. Da anvendelsen af regnvand kun har betydning i forbindelse med nedbør, er effekten derfor lille, hvad angår udledninger fra renseanlæg.

Anvendelse af regnvand vil reducere den årlige udledte vandmængde fra renseanlæg med 1-10 % afhængigt af, hvor udbredt regnvandsanlæggene er. De 10% opnås, hvis alle huse i et opland opsamler regnvand. Et realistisk bud er dog, at max. 1/3 af alle huse vil anvende regnvand i husholdningen.

Udledningen af næringsstoffer fra renseanlæg vil blive reduceret tilsvarende med 1-10%.

Udledning gennem renseanlæg ved anvendelse af regnvand

Sammenligning med forsinkelsesbassin

Hvis der i stedet for regnvandsanvendelse bygges forsinkelsesbassiner (for at reducere overløb fra overløbsbygværker), vil der under og efter regn komme mere regnvand til renseanlægget. Dette skyldes, at vandet, der er opsamlet i forsinkelsesbassinerne, også skal ledes til renseanlægget.

Ved bygning af forsinkelsesbassiner i oplandet vil den årlige udledte vandmængde fra renseanlægget til sammenligning blive forøget med 5-15 %.

Udledte stoffer

De udledte mængder af næringsstoffer (såsom fosfor, kvælstof og BI_5) er ligefrem proportionale med størrelsen af de udledte vandmængder. Uanset hvor "tykt" spildevandet, der ledes til renseanlægget er, vil der blive renset ned til en bestemt koncentration. Det er dog forudsat, at der ikke forekommer slamflugt under regn, hvilket af og til kan ske.

2. Sundhedsmæssige aspekter

Det er velkendt, at manglende viden og omtanke i forbindelse med omgang med vand igennem tiderne har forvoldt mange sygdomstilfælde. Det er derfor også klart, at dette spørgsmål har en meget stor prioritet ved vurderingen af fordele og ulemper ved anvendelse af regnvand i boligerne.

Vand kan forvolde sygdom, dels hvis det indeholder sygdomsfremkaldende mikroorganismer, dels hvis det indeholder sundhedsskadelige kemiske stoffer. Overførslen til mennesker kan ske ved:

- Indtagelse af vandet
- Hudkontakt
- Indånding af luft (aerosoler, støv)

I denne rapport forudsættes, at *vandet udelukkende anvendes til toiletskyldning og til tøjvask*. Der ses derfor bort fra smittespredning via indtagelse af vandet. I kapitlet omkring anlægsopbygning beskrives, hvordan man kan sikre anlægget mod sammenblanding af regn- og drikkevand.

Hudkontakt

Hudkontakt kan i ovennævnte brugssituationer forekomme dels i forbindelse med håndtering og dels i brugtagning af det vaskede tøj, mens der normalt ikke vil finde hudkontakt sted ved toilet skyldning. Visse bakterier, som mykobakterier og pseudomonas, har været årsag til hudsygdomme i forbindelse med badning.

Ved udskyldning af toiletter dannes aerosoler som teoretisk kan komme i luftvejene. Ved håndtering af tekstiler vil støvpartikler løsrive sig og komme ud i luften for senere at kunne komme i luftvejene.

Indånding

Indånding af forstøvede vandpartikler, aerosoler og støv kan betyde, at der ad denne vej sker sygdomsoverførsel, hvis der er stoffer eller organismer i vandet, som kan give skader i luftvejene, f.eks. kan legionella give alvorlig lungebetændelse.

Mikroorganismer

Sygdomsoverførsel via regnvandsanlæg forudsætter, at der er sygdomsfremkaldende mikroorganismer til stede i et vist omfang. Den mængde mikroorganismer, der findes i tanken, afhænger ikke så meget af mængden i det tilførte regnvand, som vækstbetingelserne i tanken, dvs. næringsopholdet i regnvandet, strømningsforholdene i tanken og temperaturen. Temperaturen er det forhold, man lettest kan regulere og vil afhænge af beholderens placering.

Der gøres opmærksom på, at når det gælder anvendelse af regnvand til tøjvask og WC-skyl, så indeholder snavset tøj og toiletskyllevandet i forvejen store mængder mikroorganismer.

Den mængde mikroorganismer, som skal til for at smitte, er forskellig fra organisme til organisme og afhænger også af faktorer som alder og tilstand hos den, der udsættes for mikroorganismen.

For at belyse problemets omfang er der indsamlet eksisterende viden om regnvands indhold af mikroorganismer og kemiske stoffer (inkl. partikler), men problemet er endnu ikke fyldestgørende blyst.

2.1 Mikroorganismer i regnvandsanlæg

Når regnvand passerer ned gennem luften, rammer overflader og løber ned i en beholder, vil det blive tilført mikroorganismer.

Mængden og arten af disse organismer afhænger af mange forhold. Overordnet set kan man forestille sig følgende organismer:

- Bakterier
- Virus
- Protozoer
- Ormeæg
- Alger
- Svampe

Der er set på de mikroorganismer, som kan medføre smittespredning i forbindelse med hudkontakt og indånding. Der er i dette afsnit anvendt følgende kilder: /11/, /12/, /13/, /14/ og /15/.

2.1.1 Bakterier

Der ses på følgende grupper af bakterier, som må forventes at kunne forekomme i regnvand:

- Patogene bakterier, herunder vandbakterier
- Indikatororganismer

Patogener

Regnvand opsamlet fra tage forventes at kunne indeholde patogene bakterier, idet regnvandet kan være forurenset med smitstoffer hidrørende fra dyrefækalier (fugle, katte, gnavere).

Der er størst risiko for følgende patogene bakterier:

- Salmonella
- Yersinia
- E.coli.

Vandbakterier

Ligeledes kan følgende vandbakterier, der også er patogene, forekomme:

- Pseudomonas spp.
- Legionella

Indikatororganismer

Herudover kan regnvandet indeholde følgende indikatororganismer, der er tegn på fækal forurening, da de findes i tarmkanalen hos dyr:

- Termotolerante coliforme bakterier
- Coliforme bakterier
- Fækale streptokokker

De enkelte bakterier gennemgås i bilag 2.

Konklusion

I tabel 2.1 sammenfattes forekomst og infektionsveje for de ovennævnte bakterier.

Familie	Slægt	Forekomst	Infektionsvej til mennesker		
			Indtagelse	Hudkontakt	Indånding
Enterobacteriaceae	Termotolerante coliforme Escherichia, (E.Coli)	Tarm (mennesker/varmløbende dyr)	X		
	Coliforme	Miljø/tarm hos mennesker og dyr			
	Klebsiella Enterobacter	Tarm. Respirationsveje. Miljø Tarm	X	X	(X)
	Øvrige Salmonella	Tarm (mennesker/dyr) i miljøet	X		(X)
	Yersinia Y.pseudotuberculosis	Forekommer hos fugle og vilde gnavere, i miljøet og levnedsmidler	X	X	
Pseudomonadaceae	Pseudomonas	Tarm-, mund og hudflora (mennesker) i miljøet	X	X	X
Legionellaceae	Legionella	I miljøet			X
Streptococcaceae	Fækale streptokokker	Tarm (mennesker/dyr)	X	X	

Tabel 2.1

Tabel 2.1 viser en oversigt over de bakterier, som formodes at udgøre en mulig risiko i forbindelse med regnvandsanvendelse, samt deres forekomst og infektionsveje til mennesker.

Det er tidligere blevet beskrevet, at det i forhold til anvendelse af regnvand til vask og wc-skylling især er infektion ved hudkontakt (vask og anlægspasning) og indånding, der er af interesse. I tabel 2.2 er angivet yderligere oplysninger, der belyser disse bakteriers trivsel i regnvandsanlæg.

Bakterie	Væksttemperatur °C	Optimum °C	pH-værdi (bedst)
E.Coli	18-44	37	(6-8)
Klebsiella	12-43	37	(6-8)
Salmonella	18-42	37	(6-8)
Y.Pseudotuberculosis	4-42	28-29	4-10
Pseudomonas	4-43	28/37	-
Legionella	25-45	35-37	-
Fækale streptokokker	10-45	37	-

Tabel 2.2

Optimal væksttemperatur og pH-værdier for de bakterier, der med nogen sandsynlighed vil kunne forekomme i regnvandsanlæg og dermed (teoretisk) kunne forårsage gener ved hudkontakt eller indånding.

Ved at betragte denne oversigt ses det, at alle de omtalte bakterier vil kunne vokse ved de temperaturer, som er normale for opbevaringsbeholderne i regnvandsanlæg (dvs. intervallet fra 8°C-25°C). Temperaturen vil afhænge af beholderens placering. En tank, som er nedgravet i jorden, vil sjældent have højere temperaturer end ca. 15°C, mens tanken, hvis den placeres i en bygnings varmecentral, vil opnå betydeligt højere temperaturer.

pH-værdien for regnvand er fra naturens hånd lav, ca. 4-5 og derfor ikke det optimale for bakterier. Såfremt opbevaringsbeholderen er fremstillet af beton, vil pH-værdien dog gradvist forøges til ca. 7, på grund af afgivelser fra betonen.

Der vil i opsamlingsbeholderne være teoretisk mulighed for overlevelse og vækst af mikroorganismerne. Ikke-patogene heterotrofe bakterier vil kunne vokse, hvis der er organisk stof i beholderne, hvilket der givet vis er. Bakterievækst medfører iltforbrug og slim eller slAMDannelse. Ved højt indhold af organisk stof kan dette medføre iltfrie anaerobe forhold i bunden af beholderne, evt. med efterfølgende mikrobiel sulfatreduktion og deraf følgende lugtgener i form af svovlbrinte.

Der er dog ikke kendskab til disse problemer i praksis på nuværende tidspunkt.

2.1.2 Virus

Der vil kunne forekomme enterovirus (hidrørende fra dyr) i regnvand, der er opsamlet fra tage. Den samme virusstype forekommer sjældent både hos mennesker og dyr, hvorfor overførsel mellem disse ikke vurderes at finde sted.

Virus formerer sig ikke uden for værtsorganismen /35/. Virus anses derfor ikke for at have sundhedsmæssig betydning ved anvendelse af regnvand.

2.1.3 Protozoer

Protozoer er encellede dyr. Af interesse i forbindelse med opsamling af regnvand er formentlig især følgende:

- Giardia
- Cryptosporidier
- Toxoplasma gondii.

De enkelte protozoer er beskrevet i bilag 2.

Protozo	Forekomst	Smitte		
		Indtagelse	Hudkontakt	Indan-ding
Giardia lamblia	Udbredt i naturen. Tarm hos mennesker og dyr	X		
Cryptosporidier	Overfladevand. Tarm hos mennesker og dyr.		X	
Toxoplasma gondii	Katte			X

Tabel 2.4

Protozoers forekomst og smittevej.

Det fremgår at tabel 2.4, at protozoerne især smitter gennem indtagelse. Det antages derfor i lighed med det, som blev forudsat for bakterier, at der ikke er nævneværdig fare for smitte af disse ved anvendelse af regnvand til vask og WC-skylling.

2.1.4 Ormeæg

Ormeæg vil kunne forekomme i opsamlet regnvand, men smittevejen sker ved indtagelse. Smitte sker normalt ikke fra dyr til mennesker. Ormeæg kan derfor ikke anses for at give sundheds-mæssige problemer ved anvendelse af regnvand.

2.1.5 Alger

Alger kan give 2 typer gener i regnvandsanlæg: dels kan de gøre vandet uklart (grønligt) og uæstetisk, dels kan der ske en opfor- mering af giftige blågrønalger.

Synlig algevækst er beskrevet i enkelte tilfælde i forbindelse med opbevaring af vandet i åbne eller lysgennemtrængelige beholdere.

De sundhedsmæssige problemer med blågrønalger er kun sparsomt beskrevet. Blågrønalger vil kunne forekomme i opsamlingsbeholderne for regnvand, da livsbetingelserne er ideelle for blågrønalger /16/.

Der er tale om tre toxiner, der kan dannes af blågrønalger:

- levertoksiner
- nervetoksiner
- hudtoksiner

Sidstnævnte er mangelfuld undersøgt, men menes at kunne være årsag til hudlidelser og eksem hos folk, der bader. Levertoksiner og nervetoksiner kan påvirke den menneskelige organisme, hvis de indtages. Ved anvendelse af regnvand i boligerne vil det dermed være hudtoxinerne, som muligvis vil kunne give problemer.

2.2 Kemiske stoffer i regnvand

Regnvand indeholder fra naturens hånd en række stoffer, som det tilføres i det hydrologiske kredsløb, f.eks. salt, som optages i regnvandet ved fordampningen fra havoverfladen. Nedbøren optager desuden stoffer i luften, på tagoverflader, fra nedløbsrør og i opbevaringstanke.

2.2.1 Nedbørens indhold af kemiske stoffer

Mængden af stoffer i nedbøren anhænger af luftens indhold af stoffer. Denne påvirkes af mange faktorer, urbanitet, vej- og vindforhold, årstid, tiden der er gået, siden sidste gang det regnede etc. Der er også forskel på den første og den sidste regn i et regnskyl. Der er derfor væsentlige variationer i de koncentrationer, der måles.

2.2.2 Tilførsel af stoffer fra tagflader

Regnvand til brug i boliger opsamles typisk fra boligernes tagflader. Disse tagflader afgiver en række stoffer til regnvandet, afhængigt af tagfladens materiale.

Der findes ingen systematisk kortlægning af afgivelsen af stoffer fra disse materialer. Her vil der derfor kun blive redegjort for de stoffer, som man umiddelbart må formode, kan afgives:

Kemiske stoffer i nedbør

Kemiske stoffer fra tagflader

Tagma- teriale	Tagpap	Skifer, asbest- cement	Cement- sten	Tegl	Metal- plader	Strå	Glas og an- det mate- riale
Beboelses- bygninger i alt	16152	90026	22616	45504	1452	3723	605
Andel af boliger	9%	50%	13%	25%	1%	2%	<1
Opført før 1940	2426	25964	6320	20241	1048	3477	221
1940-1959	1517	9515	1105	9603	129	39	56
1960-1979	11512	48904	5931	10083	174	140	208
1980-1989	651	5202	8391	4599	90	45	93
1990	46	402	860	959	9	8	25

Tabel 2.5

Tabellen viser det bebyggede areal (kun boliger) fordelt efter tagdækningsmateriale. Arealet er opgjort i 1000 m² (baseret på BBR - oplysninger/Danmarks Statistik).

Skifer/asbestcement

Det fremgår ikke af ovenstående oversigt, hvordan fordelingen er mellem skifer og asbestcement, men det skønnes, at asbestcementen udgør langt den største del. Desuden indeholder gruppen af skifer også en del asbestholdige "kunstskiferprodukter".

Asbestfibre kan give skader i luftvejene, mens asbest ikke menes at være skadeligt, hvis det indtages (f.eks. i drikkevand, hvor det forekommer mange steder i verden). Man kan forvente, at der sker en vis "afrivning" af asbestfibre, som vil kunne genfindes i regnvandet.

Cementsten

Cement afgiver alkaliske stoffer (CaCO₃) til regnvandet, hvorved kvaliteten af dette ændres. Herved forhøjes regnvandets pH-værdi, hvilket mindsker risikoen for korrosion i rørene. I /17/ angives desuden, at den højere pH-værdi betyder, at større mænder bly og cadmium binder sig til partikulære støvparktikler og derved reducerer mængden af opløst bly/cadmium i regnvandet. Der er ikke viden om, at materialernes indhold af andre stoffer: hærdemidler, luftindblandingsmidler, farvestoffer, plastfixering, flyveaske mv. giver anledning til afgivelser til regnvandet.

Tegl

Tegl har totalt set en relativt ringe afgivelse af stoffer. Farvet tegl kan dog afgive bly til regnvandet /17/.

Tagpap

Tagpap (asfaltpap) fremstilles ved imprægnering af armeringsmaterialer med tjære eller bitumen. Som armering kan der bl.a. anvendes asbestfibre eller jutevæv. Tagpap er imprægneret med tjære eller bitumen. Bitumen anvendes i stigende grad i stedet for tjære, som indeholder en række stoffer, der er mistænkt for eller påvist kræftfremkaldende.

Det vides, at tagvand fra tagpaptage kan være gulfarvet. Man kan forvente, at der er opløste tjære eller bitumenstoffer i tagvandet /18/.

Metal

Som tagdækning anvendes følgende metaller: aluminium, kobber, zink og bølgeblik (jern). Bly anvendtes tidligere til hele tagdækninger, men anvendes i dag kun i forbindelse med inddækninger. Alle metaller nedbrydes med tiden af regnvandet, og opløst metal må derfor forventes i regnvandet /18/.

Pesticider i regnvand

Pesticider kan transporteres igennem luften over meget store afstande, inden de falder ned på tagfladen. Pesticider, der er forbudt i Sverige, er fundet i regnvand i Sydsverige. Pesticiderne stammer formentlig fra Danmark /19/.

Der er foretaget forskellige målinger af pesticider i regnvand i Norden. Måleresultaterne fra Danmark forefindes ikke som koncentrationer i regnvand men derimod som nedfald pr. km². Målinger fra Sydsverige er opgjort som µg/l. Målinger fra Ekerö i Sydsverige findes i bilag 3. Målingerne kan tilnærmelsesvis gælde for Danmark. Målingerne viser, at den maksimale koncentration af pesticider i regnvand er på 0.3-0.4 µg/l. Højeste måling af nedfald af pesticider er målt til 300 mg/ha/år /19/. Pesticiderne findes mest i sprøjtesæsonen.

Pesticiden Lindan kan dog findes hele året og i højere koncentrationer end de øvrige pesticider. Koncentrationer af Lindan i regnvand er målt til 0.03-0.7 µg/l i april-juni, og noget lavere resten af året. Det årlige nedfald af Lindan er målt til 400-700 mg/ha/år /19/.

Polycykliske aromatiske hydrocarboner (PAH)

Det har ikke været muligt at finde litteratur om målinger af PAH i regnvand.

Stoffer i samletanke

2.2.3 Indhold af stoffer i regnvand i samletanke

Samletanke er fremstillet enten af stål, plastik eller beton. Afhængig af materialevalget kan der ske en vis afgivelse af stoffer til regnvandet. Især vil beholdere af beton afgive CaCO₃, som vil forøge regnvandets pH-værdi. Dette er som tidligere nævnt en fordel for de korrosionsmæssige forhold.

I enkelte tilfælde er der anvendt gamle beholdere fra kemikalie/olieopbevaring. Hvis disse ikke renses tilstrækkeligt før ibrugtagning, vil de formentlig i lang tid kunne afgive stoffer til regnvandet, afhængigt af hvilke stoffer der er tale om.

2.3 Målinger af kemiske stoffer og organismer i regnvand

I Bilag 4, 5 og 6 findes oversigter over måleresultater for forekomst af mikroorganismer og kemiske stoffer i regnvand. Oversigterne tager udgangspunkt i 3 målepunkter: 1. Nedbør, 2. Afløb fra tagflader og 3. Opsamlingstanke.

I alle tilfælde er de målte værdier sammenlignet med de tilsvarende drikkevandskrav, således at det er muligt at danne sig et overblik over størrelsesordenen af forureningerne.

De sammenstillede tal må tages med et vist forbehold, da der kan være anvendt forskellige målemetoder. Man kan altså kun benytte tabellerne til at få et indtryk af nogle niveauer for koncentrationerne.

2.3.1 Kemiske stoffer

Kemiske stoffer i regnvand fra tagflader

Der er ikke mange af de målte niveauer for kemiske stoffer, som overstiger drikkevandskravene, hvilket fremgår af tabel 2.6.

Regnvand fra tagflader	Konc.	Drikkevand max.
Bly	10-100 $\mu\text{g/l}$	50 $\mu\text{g/l}$
Kobber	10-1.000 $\mu\text{g/l}$	100 $\mu\text{g/l}$
Zink	50-1.000 $\mu\text{g/l}$	100 $\mu\text{g/l}$
Suspenderet stof	5-50 mg/l	-
COD	10-22 mg/l	-
Cadmium	1-4 $\mu\text{g/l}$	5 $\mu\text{g/l}$
NH ₄ -N (ammonium)	4 mg/l	0,5 mg/l
NO ₂ -N (nitrat)	0,2 mg/l	50 mg/l
NO ₃ -N (nitrit)	0,3 mg/l	0,1 mg/l
Tot-fosfor	0,3 mg/l	0,15 mg/l

Tabel 2.6

Målinger af kemiske stoffer i regnvand /20/.

Det fremgår af tabel 2.6, at nogle af de målte koncentrationer i regnvand ligger inden for et stort interval. Dette gælder specielt for bly, kobber og zink. Dette kan skyldes variation af regnintensitet og hvor lang tørhedperiode, der har været. Fosfor, nitrit og ammonium i regnvand overstiger drikkevandskravene.

Bakterie indhold i opsamlingstanke

2.3.2 Bakterier

Der findes ikke målinger, der sammenhængende klarlægger niveauerne for alle de tidlige angivne bakterier. I nedenstående tabel 2.7 er gengivet de målinger, der har været muligt at finde i litteraturen fra bakterieindholdet i opsamlingstanke. De angivne data vil ikke i alle tilfælde være fuldt sammenlignelige, da der kan være anvendt forskellige målemetoder.

Kilde	E.Coli	Coliforme	Enterokokker	Salmonella	Totalkim
	pr. 100 ml	pr. 100 ml	pr. 100 ml	pr. 100 ml	pr. 100 ml
/21/ Tyskland 1990	<140	<140	<340	i.m.	
/22/ Japan 1984					16.000
/23/ Tyskland 1993	<23.000	<70.000	<12.000	i.m.	
/24/ Danmark 1994		0-35			>3000
/5/ Danmark 1992	37 hhv. 3731				3790 hhv. 9717

Tabel 2.7

Målinger af bakterier i regnvand opsamlet til brug ved WC-skylning.

Bakterier i vasketøj

I Tyskland er der gennemført en række målinger med henblik på at konstatere omfanget af bakterier i vasketøj. Tabel 2.8 og 2.9 viser de fundne resultater /23/. I undersøgelsen indgik 18 regnvandsanlæg. Målingen er udført på:

1. Snavset vasketøj før vask.
2. Vasketøj efter vask i regnvand i fugtig tilstand.
3. Vasketøj efter vask i regnvand i tørret tilstand.
4. Vasketøj efter vask i drikkevand i tørret tilstand.

Total antal kim v. 37°C	Snavset vask antal prøver n = 400	Regnvand, fugtigt vasketøj, antal prøver n = 100	Regnvand, tørret vasketøj, antal prøver n = 108	Drikkevand, tørret vasketøj, antal prøver n = 215
< 10	4	4	22	36
10-50	18	28	39	33
50-100	14	11	20	13
100-500	51	40	12	14
500-1000	11	6	3	2
> 1000	2	11	4	2

Tabel 2.8

Målinger af bakterier i vasketøj vasket i hhv. regnvand og i drikkevand /23/.

Det gennemsnitlige kimtal for snavset tøj var 500 kim pr. 25 cm². Efter tørring er der stort set ikke konstateret forskelle i kimtal, afhængig af, om tøjet har været vasket i drikkevand eller regnvand.

Kimtal pr. 25cm ² v/37°C	Snavet vask Antal prøver: 400	Regnvand fugtigt vasketøj Antal prøver: 100	Regnvand tørret vasketøj Antal prøver: 108	Drikkevand tørret vasketøj Antal prøver: 215
Pseudomonas-gruppe	22	55	18	40
Pseud.aeruginosa	6	3	0	0
Escherichia Coli	86	0	0	0
Klebsiella spec.	37	3	0	0
Enterobacter spec.	42	9	3	1
Staphylococcus aureus	18	3	6	8
Staph.epidemidis	364	76	90	128
Sporenbildner, aerob	307	91	90	144
Mirococcus	112	52	61	65
Andre	152	0	0	0

Tabel 2.9
Målinger af bakterier i vasketøj /23/.

Dette resultat viser ikke nogen tegn på, at bakterieniveauerne i det tøj, som er vasket i regnvand, skulle være højere end i det drikkevandsvaskede, på trods af regnvandets større indhold af bakterier.

Formentlig stammer langt de fleste sygdomsfremkaldende bakterier i forbindelse med vasketøj fra tøjets tilsmudsning i brug /23/.

Bakterier i WC'er

I tabel 2.10 er vist enkelte resultater af målinger af bakterieindhold i WC-skyllevand. Området er dårligt belyst.

	Bakterieniveauer fundet i WC-cisterner /10/	Rømt, tilslutnings- punkt ved WC /37/	Toiletkumme /37/
Vandkvalitet	Vandværksvand	Regnvand	Vandværksvand
Kim 21°C/ml	100-10.000.000		
Kim 37°C/ml	10-100.000		
Termotolerante E. Coli/100 ml	0-200	1	100-4600

Tabel 2.10
Målinger af bakterieindhold i wc-skyllevand.

2.4 Drikkevandsforsyning

Ved mindre forbrug af drikkevand vil der være mere stillestående vand i ledningsnettet, hvilket er et generelt problem ved vandbesparende foranstaltninger. Dette kan i de fleste tilfælde løses ved f.eks at tvinge vandet rundt i ledningsnettet og derved skabe større gennemstrømning.

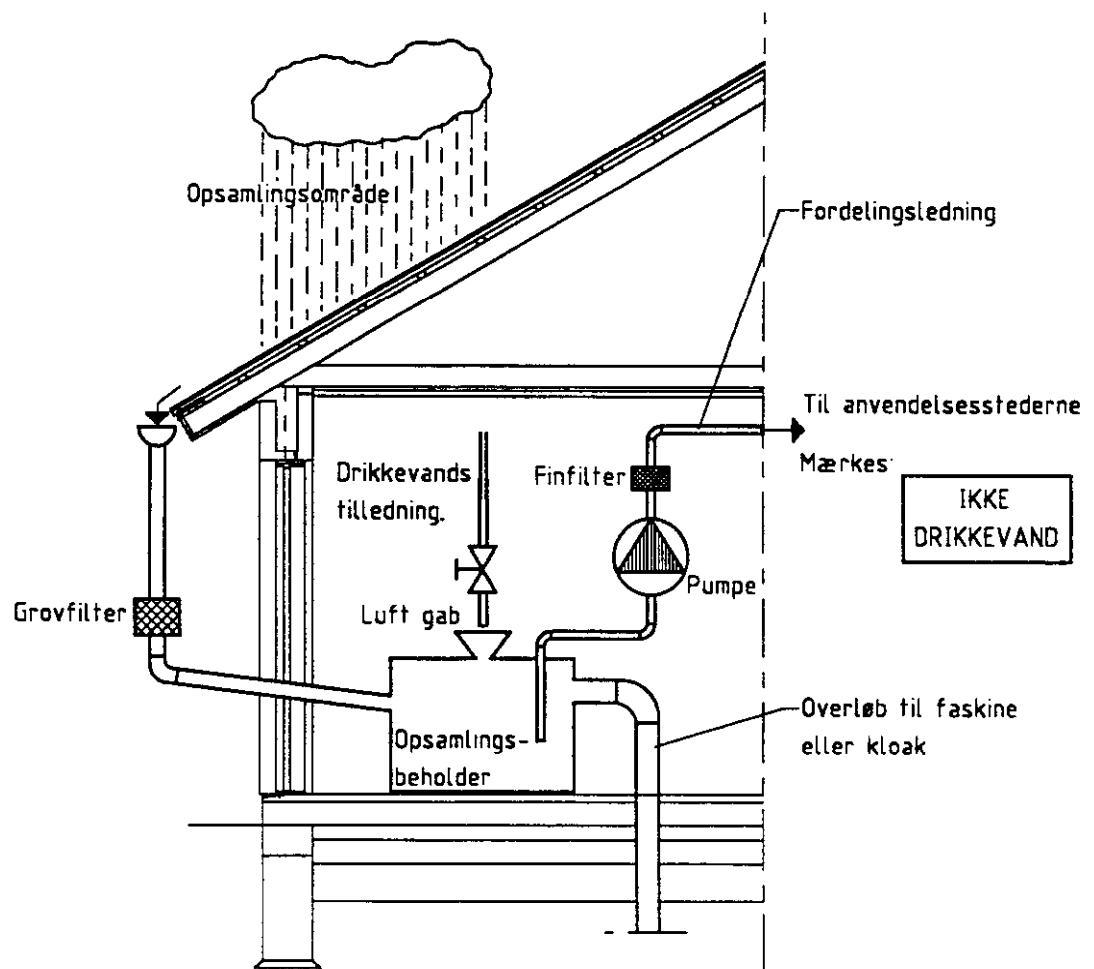
Der vil normalt ikke være sundhedsmæssige problemer i, at der biver mere stillestående vand i ledningsnettet, men det kan ikke afvises, at der vil være risiko for, at bakterier vil få bedre muligheder for at vokse, samt at der er en øget risiko for afsmitning fra rørne.

Det kan afslutningsvis bemærkes til kapitel 2, at de sundhedsmæssige aspekter af at anvende regnvand i husholdninger er et område, der endnu er dårligt belyst.

3. Tekniske aspekter

Opsamling af regnvand sker på tagflader, hvorfra vandet via nedløbsrør ledes til en samletank. Fra samletanken distribueres vandet til husets installationer. I perioder, hvor samletanken er tom, ledes der drikkevand til samletanken. Regnvandsanlægget består dermed af følgende dele:

- Opsamlingsareal
- Tilledning til beholder
- Filter
- Beholder
- Overløb fra beholder
- Drikkevandsstilleddning
- Fordelingsnet
- Pumpeanlæg
- Forbrugsudtag



Principskitse af regnvandsanlæg.

3.1 Valg af komponenter

Opsamlingsområde

Som opsamlingsområde foretrækkes tagflader. Som vist i bilag 4 og 5 har tagfladens beskaffenhed nogen indflydelse på regnvandets kemiske sammensætning og f.eks. tilstedeværelsen af asbestfibre ved asbestholdige tagmaterialer eller misfarvninger fra bitumen på tagpaptage. I visse tilfælde kan andre overflader anvendes til opsamlingsområde, men man skal være opmærksom på, at dette giver øget risiko for en fækal forurening (colibakterier) fra dyreekscrementer. Normalt vil dette ikke være tilfældet ved opsamling på tagflader. En undersøgelse, /25/, har dog vist et meget stort indhold af colibakterier i regnvand opsamlet på tagfladen i et hus, hvor ejeren holdt duer.

Tilledning til beholder

Alt opsamlet regnvand kan i principippet ledes til opsamlingsbeholderen. I visse tilfælde vil man vælge at undlade at lede det første regnvand til beholderen med den begrundelse, at det er det mest snavsede. Der findes dog kun sparsomme oplysninger om effekten af dette.

I eksisterende byggeri skal det undersøges, om afløbssystemerne kan fungere uden regnvand, dvs. har den nødvendige selvrensende evne, og hvordan det forhindres, at der dannes tørlagte "lommer", som kan give rotteplage.

Filtrering

Et regnvandanlæg må forsynes med filtre, således at der ikke kommer blade og lignende ned i opsamlingsbeholderen. Det er væsentligt for at undgå, at der dannes for meget slam i beholderen, og fordi det kan tilstoppe rør og pumpesystemer. Blade og smuds i filtrene kan formentlig give grobund for mikroorganismer og derved gøre vandet uklart, men der findes ikke nogen viden om, hvorvidt bakterieniveauerne i væsentlig grad påvirkes af mekanisk filtrering.

Filtrene skal være let tilgængelige og enkle at rense. Anlæggene forsynes typisk med et grovfilter (bladfang) og et finfilter.

Opsamlingsbeholder

Som opsamlingsbeholder kan følgende anvendes:

- Betonbeholdere
- Kunststoftanke
- Stålbeholdere

Lysgennemskinnelige kunststoftanke er ikke egnede til anvendelse udendørs, da der herved kan ske en opformering af mikroorganismer, herunder især algevækst i tankene.

Hvis man placerer tanken i jord, vil opbevaringstemperaturen og dermed væksten af mikroorganismer herved være lavere end ved opbevaring i kælderrum. Placering af beholderen i tagrum kan være problematisk for frostsikring, temperaturer, vandskader. Desuden skal det naturligvis sikres, at konstruktionerne kan klare den store vægtmæssige belastning.

Opbevaringstanken skal være udformet således, at det er muligt at foretage en rensning af tanken, og at der er en tømningsmulighed. Der vil derfor i mange tilfælde være behov for at forsyne opbevaringsrummet med et gulvafløb.

Overløb

Opsamlingsbeholderen skal forsynes med et overløb, således at ukontrolleret vandaflødning fra en fyldt beholder undgås. Dimensionen på overløbsrøret skal være større end tilledningen fra tagfladen, så der er sikkerhed for, at der ikke sker tilbagestuvning af vand i tagnedløbet. Der skal være sikkerhed for, at vandet kan ledes væk fra anlægget f.eks. til et nedsvivningsanlæg eller til kloak.

Drikkevandstilledning

For at sikre at forbruget af vand kan dækkes i perioder med ringe nedbør forsynes tanken med en drikkevandstilledning.

Luftgab

Regnvandsanlæg kan i denne sammenhæng sidestilles med apparater og udstyr som vandklosetter, vaskemaskiner etc. Her er kravet et luftgab mellem installation og vandforsyningstilledningen på mindst 20 mm. En kontraventil er ikke en tilstrækkelig sikring.

Man kan alternativt forsyne systemet med et dobbelt ledningsnet, men dette vil i mange tilfælde være en omkostningsfuld og besværlig løsning.

Fordelingsnet

Ledningsnettet dimensioneres i henhold til "Norm for vandinstallationer", /26/.

Både vandkvaliteten og materialevalget spiller en rolle for mulighederne for korrosion i systemet.

Regnvand har en anden sammensætning end grundvand. Specielt kan nævnes regnvandets lave pH-værdi (4-5) som betyder, at regnvand er mere aggressivt mod installationerne end grundvand. Dernæst indgår der forskellige metaller i opsamlingssystemet, som kan føre til korrosion. Her tænkes på tagfladen og dens inddækninger, nedløbsrør, samlerør og endelig opsamlingsbeholderen. Fra opsamlingsbeholderen ledes vandet videre til boligens installationer.

Alle metaller, som indgår i dette system bør overvejes. Dernæst bør korrosionsmæssige forhold undersøges.

Mærkning af ledninger

Ledningsnettet skal sikres således, at der ikke ved en senere lejlighed sker forveksling mellem regnvandet og drikkevandet. Ifølge "Norm for Vandinstallationer", /26/, skal ledninger for behandlet vand (som regnvand kan sidestilles med) mærkes med særlig farve eller ifølge Dansk Standard, DS 134, /27/.

Pumpeanlæg

Ved valg af pumpe skal der tages hensyn til korrosionsbeskyttelsen. Korrosionsfri materialer som kunststof og rustfrit stål kan anvendes.

Forbrugsudtag

Aftapningarmaturer og apparater mærkes "ikke drikkevand" eller "regnvand". Vaskemaskiner kan evt. tilsluttes både regnvand og drikkevand, således at det er muligt at vaske i regnvand og dernæst at skyde tøjet i drikkevand. Denne løsning vælges ofte efter ønske fra beboerne.

3.2 Dimensionering af regnvandsbeholder

Parametre for dimensionering

Regnvandsbeholdere til opsamling af regnvand kan dimensioneres ud fra følgende parametre:

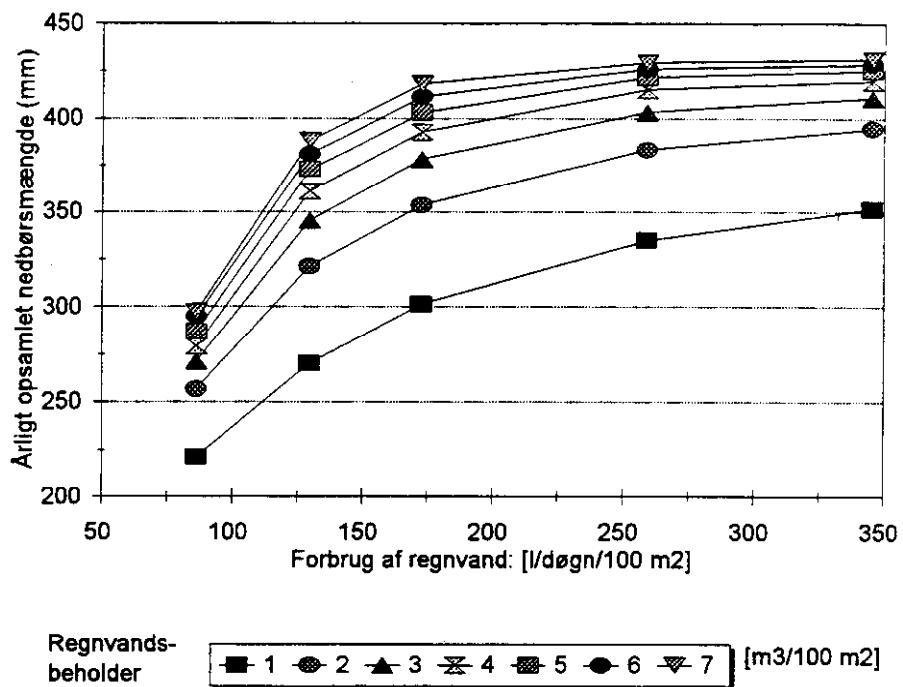
- forventet forbrug af regnvand
- størrelsen af det areal, regnvandet opsamles fra (typisk en tagflade)
- andel af året, der skal kunne tappes regnvand fra regnvandsbeholderen

3.2.1 Opsamling af regnvand

Den årlige nedbør i Danmark udgør ca. 550 mm/år. Den årlige afstrømning fra f.eks. tagflader vil dog kun være af størrelsesordenen 450 mm/år, idet en del af nedbøren vil gå til befugtning af overflader og fordampning. Mængden af nedbør, som kan opsamles i regnvandsbeholdere, vil yderligere være begrænset af, hvor meget plads der er i regnvandsbeholderen, afhængig af beholderstørrelse og forbrug af regnvand.

Årlig mængde regnvand, som kan opsamles

Beregninger med SAMBA-model viser, at det volumen nedbør, der årligt kan opsamles i regnvandsbeholder, dels afhænger af regnvandsbeholderens volumen, dels af forbruget af regnvand, dvs. hvor hurtigt regnvandsbeholderen tømmes efter nedbør. Sammenhængen er vist på figur 3.1. For en regnvandsbeholder på $4 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ tag, vil der årligt kunne opsamles mellem 275 og 425 mm nedbør, afhængig af forbruget af regnvand.



Figur 3.1

Sammenhæng mellem volumen af regnvandsbeholder, forbrug af regnvand og nedbørsmængde, der kan opsamles i regnvandsbeholder. Volumen af regnvandsbeholder er angivet i $m^3/100 m^2$ tagflade, dvs. beholderstørrelse pr. parcelhus kan umiddelbart aflæses.

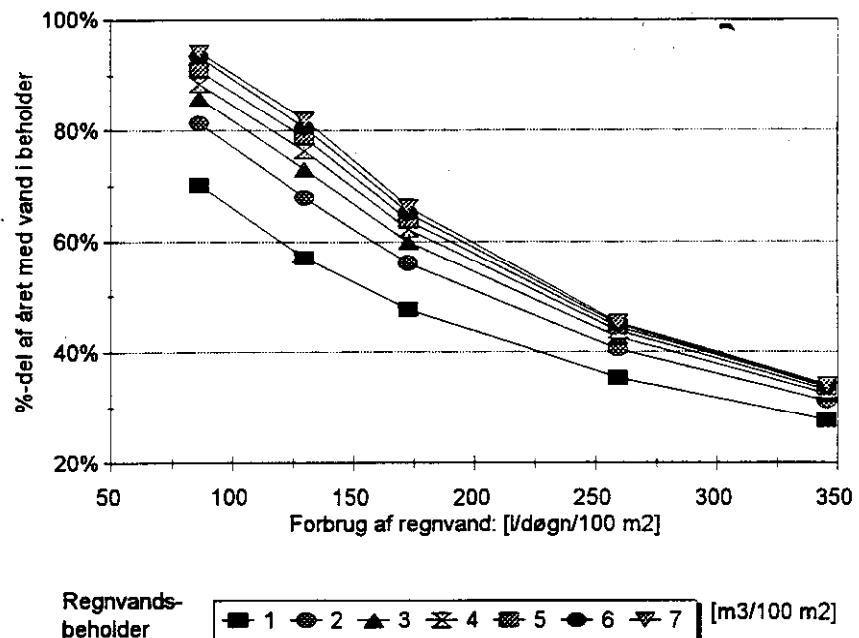
Beholderstørrelsens indflydelse

3.2.2 Dimensionering

Sammenhængen mellem beholderstørrelse, forbrug af regnvand og andel af året, hvor der er vand i regnvandsbeholder, er vist på figur 3.2. Det skal bemærkes, at en forøgelse af regnvandsbehoderens størrelse fra 1 til 5 m^3 , kun forøger andelen af året, hvor der er vand i regnvandsbeholderen, med 5 - 10 %. Det har dermed ikke særlig stor betydning, om regnvandsbeholderen er 2, 3 eller 4 m^3 !

Dimensionering

Ved dimensionering af regnvandsbeholder beregnes forbrug af regnvand i forhold til opsamlingsareal (tagflade), dvs. afløbstal for regnvandsbeholder a , $l/døgn/100 m^2$ ($\mu m/s$), og det vurderes, hvor stor en del af året, der skal kunne tappes vand fra regnvandsbeholderen. På figur 3.2 aflæses herefter den nødvendige størrelse af regnvandsbeholderen, v ($m^3/100 m^2$).



Figur 3.2

Sammenhæng mellem forbrug af regnvand, volumen i regnvandsbeholder og andel af året, hvor der er vand i regnvandsbeholder. Volumen af regnvandsbeholder er angivet i m³/100 m² tagflade, dvs. beholderstørrelse pr. parcelhus kan umiddelbart aflæses.

3.3 Lokal håndtering af regnvand

Lokal håndtering af regnvand betegner de forskellige teknikker til at håndtere regnvand lokalt. Herunder kan nævnes:

- Udnyttelse af grøfter og lavninger til vådområder
- Nedsvivning gennem jordoverfladen eller i faskine
- Forsinkelse i lokale bassinanlæg

Anvendelse af regnvand

Anvendelse af regnvand er også en form for lokal håndtering af regnvand.

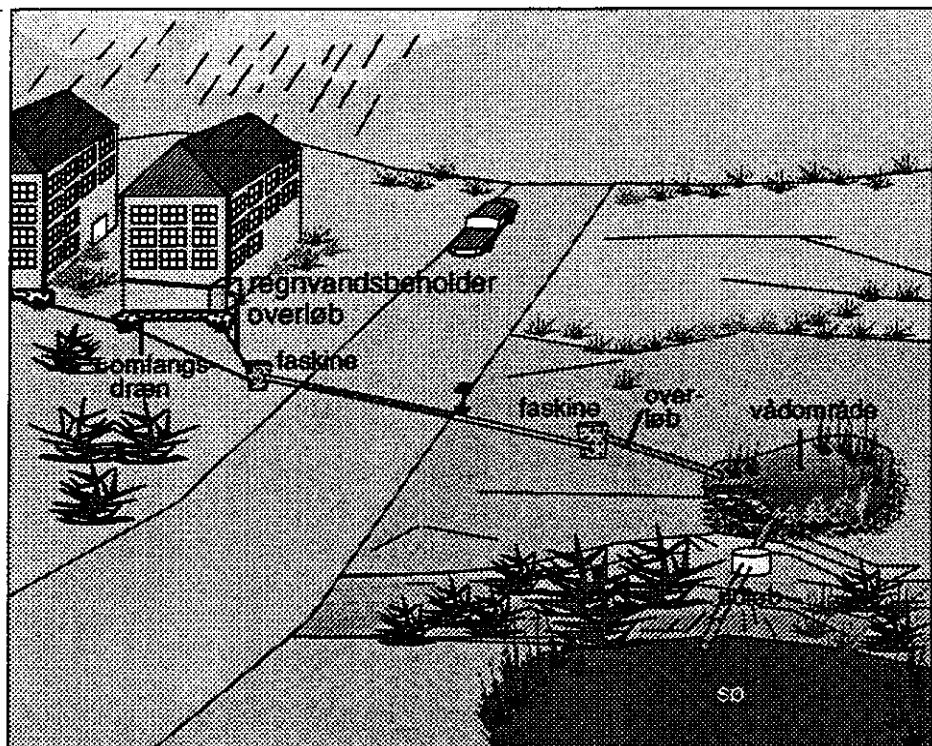
Som nævnt i afsnit 1.3 reduceres den miljømæssige værdi ved at anvende regnvand, hvis der er overløb fra regnvandsbeholderen til afløbssystemet. Det vil derfor være en fordel at kombinere anvendelse af regnvand med f.eks. nedsvivning i faskine eller udledning til grøft og vådområde.

Fordele

Når regnvandet nedsives eller afledes til grøft og vådområder vil der, udover fordelene ved anvendelse af regnvand, komme mere vand til grundvandet, som kan være til gavn for grundvandsmagasin og for tørvejsafstrømningen i vandløb og sører.

Eksempel

På figur 3.3 er vist et eksempel på lokal håndtering af regnvand. Regnvand fra tagfladen opsamles i regnvandsbeholder, anvendes i husholdningen (der er indbygget overløb fra regnvandsbeholderen til faskine). Bygningens omfangsdræn og fortov er koblet til faskiner. Der er overløb til vådområde, hvorfra regnvandet delvist nedsiver og delvist udledes til en sø.



Figur 3.3
Eksempel på lokal håndtering af regnvand

4. Økonomi

4.1 Etableringsomkostninger

Etableringsomkostningerne består i eksisterende byggeri i:

- omkostninger til ændring af eksisterende rørføring til afledning af regnvand
- omkostninger til etablering af beholder, pumpe mv.
- omkostninger til ændring af eksisterende rørføring til WC'er og vaskerum.

Ændring af eksist. nedløb

Omkostningerne til ændring af den eksisterende afledning af regnvand vil afhænge af udformningen af den eksisterende rørføring. I mange etageejendomme er der separate tagnedløb på gade og gårdsiden af bygningen. Ændring af eksisterende kloaksystemer kan derfor være meget omkostningsfuldt.

Etablering af anlæg

Omkostningerne til etablering af beholder og pumpeanlæg udgør ofte kun en mindre del af de samlede omkostninger. Der vil være mulighed for at opnå besparelser, hvis anlæggene får større udbredelse, fordi anlæggene ved "masseproduktion" vil kunne billiggøres i forhold til i dag, hvor man selv må sammenstykke anlæggene af delkomponenter.

Ændring af eksist. rørføring

Omkostningerne til ændring af den eksisterende rørføring inden for ejendommen afhænger ligeledes af den konkrete udformning af rørinstallationerne i ejendommen. I de fleste etageejendomme er baderummene placeret over hinanden og forsynet med en koldtvands- og en varmtvandstilledning. Da der fortsat skal bruges drikkevand i forbindelse med bruser og håndvask, er det i sådanne ejendomme nødvendigt at forsyne baderummene med yderligere en stikledning til regnvand.

Tabel 4.1 viser en række eksempler på omkostningerne i forbindelse med etablering af regnvandsanlæg. Af hensyn til sammenlignings-mulighederne er omkostningerne, hvor det var muligt, opgjort pr. 100 m² tagflade. De store forskelle i omkostningerne skyldes både forskelle i anlæggernes standard, i opsamlingsarealets størrelse og i de eksisterende forhold. Forskellene kan desuden skyldes forskelle i grundlaget for opgørelsen, f.eks. om projekteringsudgifter og moms er medregnet. Projekteringsomkostningerne ligger typisk på 15 % af håndværkerudgifterne, men kan afvige.

Ejendom	Opsam-lingsareal m ²	Ændring af afløb 1000kr	Beholder og pumper 1000 kr	Ændring af vand-forsyning 1000 kr	Omkost-ninger i alt 1000 kr	Omkost-ninger pr. 100 m ² tagflade 1000 kr.
Eksisterende byggeri						
<u>Etage</u>						
Studsgade /5/					50	28
Ewaldsgade /5/					48	
Dannebrogsg/28/	195	29	35	58	122	63
Klostergadc/28/	175				40	23
Gyldelevsg/28/	285				202	71
<u>Enfamilie</u>						
Lundegård/29/					6,5	
Tåstrup/30/					15-25	
Nybyggeri						
<u>Etage</u>						
Mariendalsv/28/	600				282	47

Tabel 4.1

En række eksempler på omkostningerne i forbindelse med etablering af regnvandsanlæg.

4.2 Drift- og vedligeholdelsesomkostninger

I dette afsnit medtages kun de omkostninger, som er ekstraordinære i forhold til de eksisterende systemer. Rensning af tagrender er således ikke medtaget. Drift- og vedligeholdelsesomkostningerne består derfor i omkostninger til:

- Rensning af riste i gulvafløb
- Rensning og/eller udskiftning af filtre
- Rensning af opsamlingstank
- Eventuel aflæsning og udskiftning af vandmåler
- Vedligeholdelse af hydrofor og/eller pumper
- El til pumper
- Evt. tilslætning af kemikalier
- Udgifter til kontrol fra myndighedernes side

Omkostningerne påvirkes af anlæggets udformning. Rensning af filtre afhænger af, om bygningen er omgivet af høje træer. Den vil desuden være årstidsafhængig. Omkostningerne til rensning af tank påvirkes af, hvordan rensningen kan foretages, f.eks. om rensningen kan foretages ved simpel spuling, eller om der skal foretages en egentlig afvaskning. Det antages, at en regnvandstank skal renses ca. 1 gang om året.

Vil man have et overblik over forbruget af regnvand samt til evt. afregning, er det nødvendigt at aflæse vandmåleren jævnligt. En vandmåler har en holdbarhed på 5-8 år.

4.3 Økonomiske betragtninger

Økonomiske betragtninger kan udføres ud fra mange forskellige synsvinkler. Nogle af dem er:

- Snæver samfundsøkonomisk betragtning
- Bred samfundsmæssig betragtning
- Privatøkonomisk betragtning.

Snæver betragtning

Set i en snæver samfundsøkonomisk sammenhæng vil udnyttelse af regnvand ikke kunne betale sig. Det er langt billigere at hente vandet over større afstande og dække boligernes vandforbrug af denne vej /4/. Ud fra denne synsvinkel kan man desuden kræve, at regnvandet pålægges vandaflledningsafgift, da det efter anvendelse i husholdningen forurennes og skal renses i rensningsanlæggene.

Bred betragtning

Ud fra en bredere økonomisk betragtning bør man imidlertid medregne de tilknyttede fordele og ulemper, f.eks. fordelene ved ikke at skulle behandle regnvand i renseanlæggene og ulemperne ved vedligeholdelse og kontrol med regnvandsanlægget.

Man kan derfor med en bredere synsvinkel måske fritage regnvandet for vandaflledningsafgift ud fra en betragtning om, at det opsamlede regnvand reducerer udledningen af næringsstoffer. Københavns kommune fritager i øjeblikket under særlige betingelser ejerne af regnvandsanlæg for vandaflledningsafgift af den opsamlede regnvandsmængde. Andre kommuner har valgt at lægge afgifter på anvendt regnvand ud fra skønnede eller målte forbrug.

Anvendelse af regnvand reducerer aflastningerne fra overløbsbygværkerne. Denne reduktion ville traditionelt opnås ved at bygge forsinkelsesbassiner. I afsnit 1.3 er der lavet edb-beregninger med et simpelt opland, hvor der anvendes regnvand eller laves forsinkelsesbassiner.

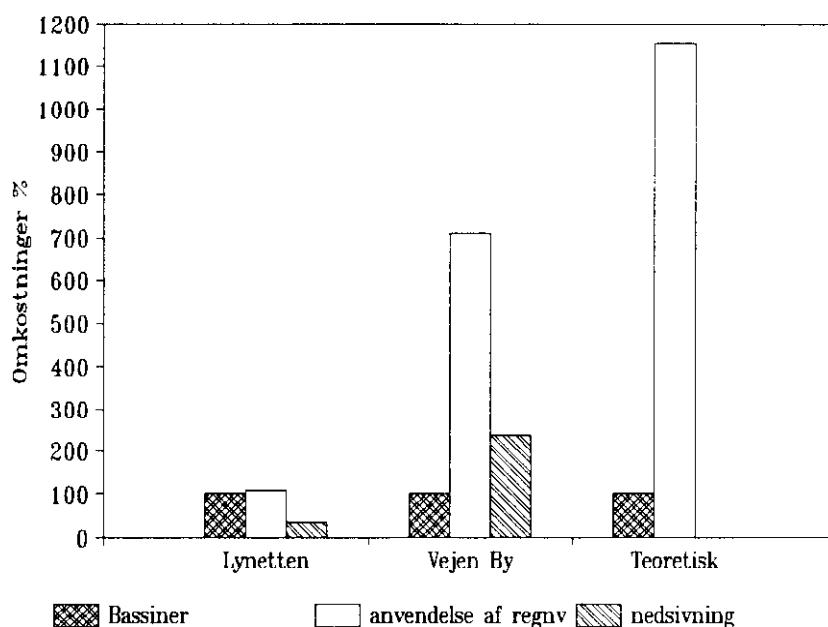
De hidtidige regnvandsanlæg har typisk kostet 30.000 kr/hus (installationer udført af autoriseret VVS-installatør). Men der er nye anlægstyper på vej, som reducerer den samlede investering væsentligt, specielt i parcelhuse. Et forsinkelsesbassin koster gennemsnitligt 3000 kr/m³ i anlægsudgifter. Hvis data fra førnævnte beregninger benyttes, er resultatet, at det ikke kan betale sig samfundsøkonomisk at anvende regnvand som alternativ til forsinkelsesbassiner. Anvendelse af regnvand bør ses som et supplement, som kan være med til at reducere de aflastede mængder fra overløbsbygværker.

Økonomisk vil det således totalt set være betydelig billigere at bygge forsinkelsesbassiner end at anvende regnvand. Dette forhold kan dog være anderledes i store afløbssystemer, hvor der er et væsentligt volumen i afløbsledninger og eksisterende forsinkelsesbassiner, og hvor transporttiden er betydelig.

Større afløbssystemer

Der er således lavet beregninger på Danmarks Teknologiske Universitet /31/ for nedsvivning af regnvand i henholdsvis Lynettens opland (en del af Storkøbenhavn) og i Vejen.

Disse beregninger viser, at det er tæt på at kunne betale sig samfundsøkonomisk at lave regnvandsanlæg eller nedsvivning i Lynettens opland, som er et stort afløbssystem. Det kan ikke betale sig i Vejens opland, der er et forholdsvis simpelt afløbssystem. Sammenligning af økonomien for henholdsvis regnvandsanlæg, forsinkelsesbassiner og nedsvivningsanlæg fremgår af figur 4.1.



Figur 4.1

Relative omkostninger til anvendelse af regnvand/nedsvivning i relation til omkostningerne til etablering af bassiner (100%). Figuren er udarbejdet på grundlag af beregninger foretaget dels på et teoretisk opland, dels i /31/.

Privatøkonomisk betragtning

Privatøkonomisk vil det i stigende grad kunne betale sig at etablere regnvandsanlæg i takt med, at priserne på vand stiger.

Anlægspriserne varierer meget, og der sker en løbende udvikling. Anlægspriserne afhænger af, hvordan den eksisterende installation er opbygget. Desuden har omfanget af eget arbejde betydning. Endelig vil produktudvikling og et større salg kunne få betydning for priserne i fremtiden. Et heldigt, men ikke urealistisk, tilfælde ser økonomisk således ud:

Anlægspris: 10.000 kr.

Tagflade: 100 m²

Årligt udnyttet vandmængde: 40-45 m³ (stor udnyttelse af det opsamlede regnvand).

Værdien af den opsamlede vandmængde svarer til forbrugerprisen på en tilsvarende mængde grundvand inklusive alle afgifter. Hvis der skal betales afledningsafgift af regnvandet falder værdien svarende til afledningsafgiften.

Eksempel: Hvis forbrugerprisen på vand er 25 kr/m³ så er værdien af det opsamlede vand tilsvarende 25 kr/m³. Hvis der skal betales vandasledningsafgift på eksempelvis 14 kr/m³ af det opsamlede regnvand, da falder værdien af det opsamlede regnvand til 11 kr/m³.

Da der føres forskellig politik i de forskellige kommuner landet over, er det vanskeligt at give et generelt overblik over hvilke omkostninger, der kan accepteres i forbindelse med investeringer i regnvandsanlæg. I nedenstående gives en oversigt over maximale anlægsudgifter i forskellige tilfælde. Tabellen er udarbejdet under ovenstående forudsætninger.

Værdi af opsamlet regnvand pr. år	Simpel tilbagebetalings-tid/år	Maximal Anlægspris pr. 100 m ² tagflade
Anvendt regnvand fritages for afledningsafgift, værdi: 25 kr/m ³	5	6000
	10	11000
	15	17000
Anvendt regnvand pålægges afledningsafgift 11 kr/m ³	5	2500
	10	5000
	15	7500

Tabel 4.2

Tabellen angiver under forskellige forudsætninger de maximale anlægspriser, hvor anvendelse af regnvand kan betale sig "privatøkonomisk". Eksempelvis må anlægsprisen være op til 11.000 kr. pr. 100 m² tagflade, hvis man kan acceptere en tilbagebetalingstid på 10 år, og det brugte regnvand i øvrigt fritages for afledningsafgift. Tabellen er udarbejdet under forudsætning af, at alt opsamlet regnvand anvendes.

5. Litteraturliste

Litteraturhenvisninger

- /1/ DGU. 1990. Status for grundvand og drikkevand i Danmark. Vandmiljøplanens overvågningsprogram.
- /2/ Miljøstyrelsen. 1987. Vandressourcerne og klimasvingninger. Miljøprojekt nr. 89.
- /3/ M. Dyhr-Nielsen, Miljøstyrelsen. Februar 1989. Vandressourcernes naturlige kvantitet og kvalitet. Vandteknik.
- /4/ D. Bechmann. Statens Byggeforskningsinstitut. Udkommer primo 1996. Ph-D. afhandling. Strategier for fremtidens vandforsyning i boligområder.
- /5/ 1992. BUR-resumé. Genanvendelse af regnvand til toiletskyl og tøjvask.
- /6/ O. Bonde. Dominia A/S. Dannebrogsgade 18. 1995. Genanvendelse af regnvand til toilet skyl. Evalueringssrapport efter 2 års drift.
- /7/ Dansk Vandteknisk forening: Vandforsyningssstatistik. 1993.
- /8/ Lessor A/S. 1995. Beskrivelse af Lessors kontorhus i Allerød Kommune.
- /9/ Allerød Kommune. Trykt i Allerød Nyt nr. 33, 1995. Tildelelse til etablering af vandforsyningsanlæg på ejendommen Gydevang 46, 3450 Allerød. Lessors kontorhus.
- /10/ Dansk Elektrolyse. 1993. Rensning og genanvendelse af grå spildevand. Rapport over udvikling og afprøvning af mini-renseanlæg i Nordhavnsgården i København.
- /11/ Guidelines for drinking-water quality, second edition, volume 1, WHO.
- /12/ Mikrobielle indikator i Levnedsmiddel- og miljøhygiejne.
- /13/ Bergey's manual of Systematic Bacteriology.
- /14/ H. Errebo Larsen og B. Aalbæk, Veterinær mikrobiologi, Bind 2, Gramnegative bakterier.

- /15/ Aa. Jepsen: Jord/vand hygiejne.
- /16/ H. Kaas. DNU. 1995. Personligt oplyst til Linda Bagge, Miljø-styrelsen.
- /17/ Bullerman, Martin et.al. Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt. Darmstadt 1989. Regenwassernutzung in Privaten und Öffentlichen Gebäuden - Qualitative und quantitative aspekte, technische Anlagen. Schriftenreihe WAR 40.
- /18/ J. Mollerup. Nyt Nordisk Forlag, A. Busck. Husbygningsmaterialer. 4 udgave 1987.
- /19/ A. Helweg at al. Pesticides in precipitation and surface water. TemaNord 1995:558.
- /20/ T. Larm. Dagvattnets sammensättning, recipientpåverkan och behandling. VAV-VA-FORSK 1994:6.
- /21/ Statens Byggeforskningsinstitut 1990. Vandinstallationer. SBI-anvisning 165.
- /22/ Tokyo. Technical Research Institute. Ohbayashi-Gumi, LTD. Environmental Laboratory Letter. Rain Water Utilization System in Buildings. No. 5. February 1984, Japan.
- /23/ Holländer, R. et al.. Staatliches Hygiene-Institut, Bremen. Forum Städte-hygiene 44. 1993. Hygienische Aspekte bei der Wäsche mit Regenwasser.
- /24/ Københavns Kommune. 1994. Målinger i Dannebrogsgade.
- /25/ Mogens Henze. Personligt oplyst. Studenterprojekt udført på Danmarks Tekniske Universitet, Institut for miljøteknologi.
- /26/ Dansk Ingenørforening. Dansk Standard DS 439. 2. udgave maj 1989. Norm for Vandinstallationer.
- /27/ Dansk Standard DS 134. "Farver og kendingsbogstaver på rørledninger til anvendelse på tegninger og røroplæg".
- /28/ A. Johnsen Nielsen. Plan Energi A/S, Rådgivende Ingenører. Personligt oplyst. September 1995.
- /29/ KAB's bygge- og boligadministration. KAB-information nr. 8, september 1994. Anvendelse af regnvand - særlige spændende perspektiver.

- /30/ Veksebo Miljørådgivning. Januar 1995. Regnvandsopsamling i Høje-Taastrup Kommune. Forundersøgelse.
- /31/ J. Hovgaard, P. Jacobsen, P. S. Mikkelsen. Laboritoriet for teknisk hygiejne. Danmarks Tekniske Højskole. 1992. Effekten af nedsvivning på traditionel regnvandsafledning.
- /32/ L. Rasmussen. Laboratoriet for økologi og miljølære. Danmarks Tekniske Højskole, 1988. Sur nedbørs effekt på ionbalance og udvaskningen af metaller og anioner i danske nåleskovsøkosystemer i perioden 1983-1987.
- /33/ C. Sacré. Stuttgart, Medicinisches Landesuntersuchungsamt. "Verwendung von Regenwasser im Haushalt. Vorträge auf der Jahrestagung des Gas- und Wasserfaches". Baden Württemberg am 16. und 17. Mai 1991 in Heilbronn.
- /34/ Anthonisen et. al. Miljøstyrelsen. 1992. Lokal afledning af regnvand. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen. nr. 36.
- /35/ B. Moll. Regenwassernutzung. Fachliche Berichte HWW 9.jg. (1990) nr. 2.
- /36/ A. Rindel, embedslæge i København. Sundhedsmæssige aspekter ved genanvendelse af vand. ATV-møde om sekundavand. ATV-møde om sekundavand. SAS-Scandinavia 28. sept. 95. Konferenceindlæg.
- /37/ Et fagpakkeprojekt udført af Jensen, P.E, J. Strandbygaard Nyborg og L. Linderød Sørensen. 1994. Regnvand i boligen - et problem?. Institut for Miljøteknologi.

Supplerende litteratur

Harremoës, Poul et. al. Polyteknisk Forlag. Danmarks tekniske Højskole. Teoretisk Vandhygiejne.

Statens Byggeforskningsinstitut 1982. Korrosionsforebyggelse i VVS-installationer. SBI-anvisning 129.

Nutzung von Regenwasser. Empfehlungen zur Nutzung in privaten und öffentlichen Gebäuden. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. 1992.

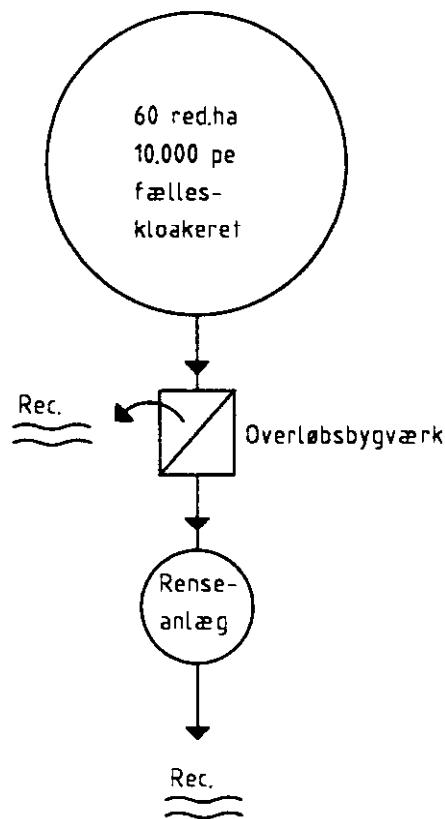
Kjellerup, M. og A. M. Hansen. 1994. Vandbesparende foranstaltninger. Teknisk Forlag.

W. Bredow. Regenwasser Sammelanlage. 1988. Eine Bauanleitung. Ökobuch Verlag. Staufen bei Freiburg.

Plan Energi A/S. Byøkologi og boligforbedring. Klostergade 78 i Århus. 1992.

Edb-Modeller

Model for opland, hvor der ikke anvendes regnvand, fremgår af figur 1. Beregningerne er gennemført for $A_r = 60$ red. ha og afløbstal $a = 0.1, 0.3, 0.6$ og $1.0 \mu\text{m}/\text{s}$. Som input til beregningerne er brugt en regnserie målt i Måløv (1978-1992). Der er i alt lavet 4 beregninger. For denne model kan der dimensioneres forsinkelsesbassiner, så man opnår en bestemt reduktion af aflastningerne.



Figur 1:

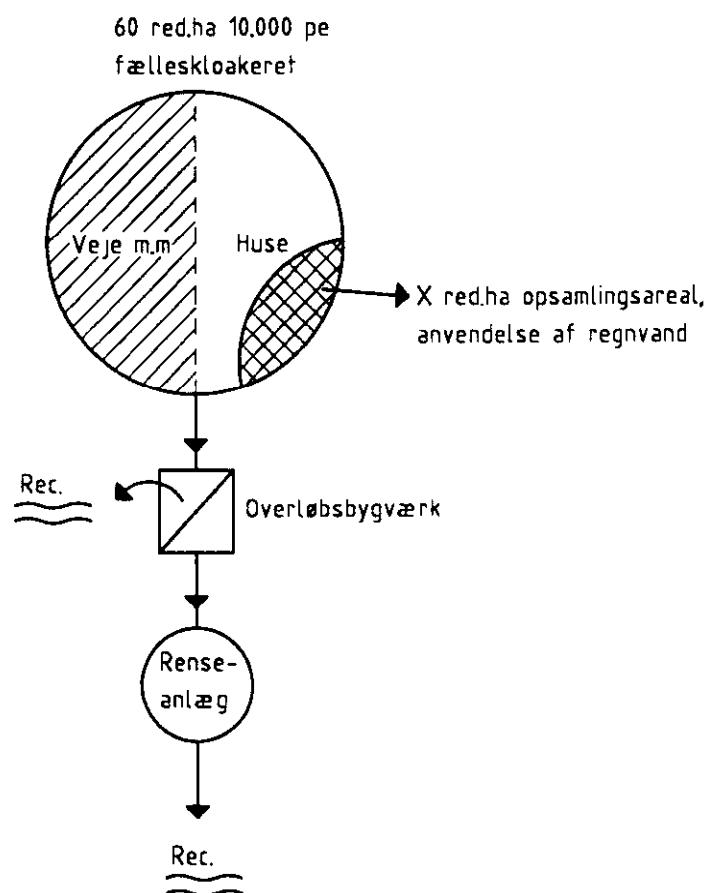
Model for afløbssystem, hvor der ikke anvendes regnvand i husholdninger. Oplandet er på 60 red. ha fælleskloakeret villaområde o.lign. Der er 10.000 PE (indbyggere). Overløbsbygværket har et volumen på 1 m^3 under overløbskanten. Beregninger er foretaget for afløbstal $a = 0.1, 0.3, 0.6$ og $1.0 \mu\text{m}/\text{s}$. Forsinkelsesbassin kan dimensioneres for reduktion af aflastningerne fra overløbsbygværk til recipient.

Bilag 1

Model, hvor befæstet areal er fjernet p.g.a. anvendelse af regnvand

En model for et fælleskloakeret afløbssystem, hvor der fjernes befæstet areal p.g.a. anvendelse af regnvand, fremgår af figur 2. Der er lavet beregninger for de samme afløbstal som i statusmodellen, men de anvendte befæstede arealer er hhv $A_r = 30, 40$ og 50 red. ha.

Der er således ialt lavet 12 beregninger. Det er ved beregningerne forudsat, at halvdelen af det befæstede areal i villaområder er tagflader, og at der aldrig er overløb fra regnvandsbeholderne til afløbssystemet, da alt vand enten udnyttes eller nedsvives via overløb til faskine.

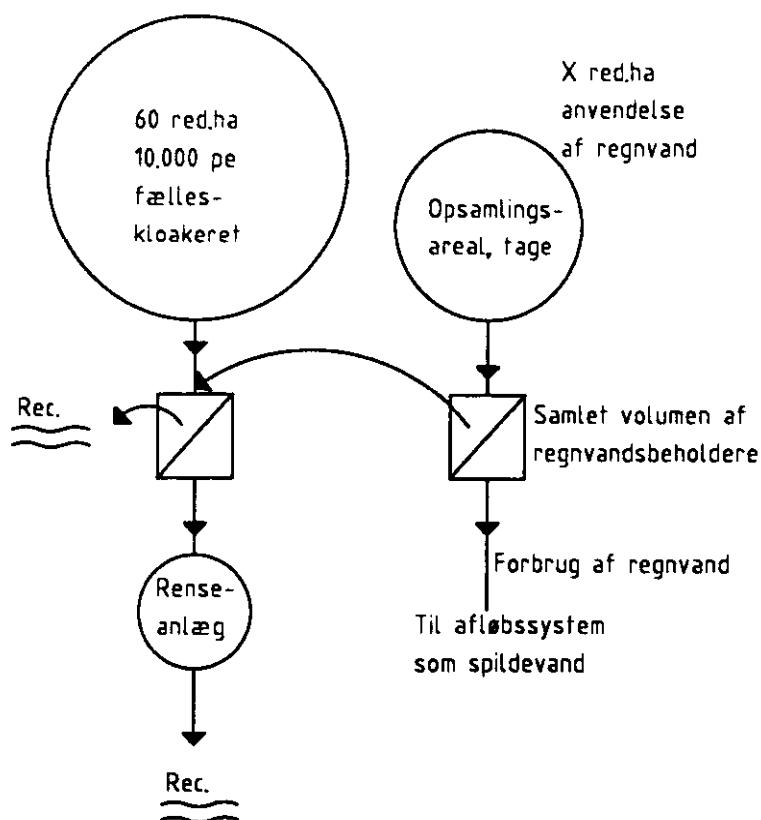


Figur 2:

Model af afløbssystem, hvor der anvendes regnvand. Der er "fjernet" befæstet areal fra afløbssystemet på grund af anvendelse af regnvand. Der er lavet beregninger, hvor det resterende befæstede areal, A_r , er henholdsvis 30, 40 og 50 red.ha.

Model, hvor der er overløb fra regnvandsbeholderne til afløbssystemet

En model, hvor der er overløb fra regnvandsbeholderne til afløbssystemet, er endvidere opstillet. Formålet er at vurdere effekten af regnvandsanvendelse, når der er overløb til afløbssystemet. Modelen ses af figur 3. Der er ved beregningerne forudsat en beholderstørrelse på 4 m³/hus for en tagflade på 100 m²/hus. Forbruget er sat til 25 l/hus/dag til toiletter.



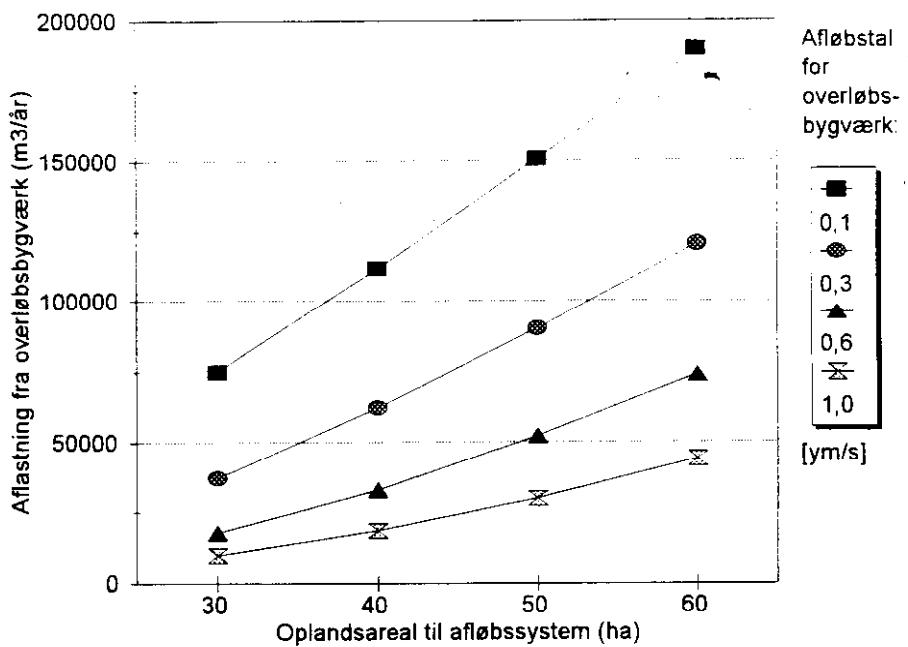
Figur 3:

Model, hvor der anvendes regnvand. Der er overløb fra regnvandsbeholderne til afløbssystemet.

Resultat af modelberegninger

Anvendelse af regnvand reducerer aflastningerne fra overløbsbygværkerne til recipienterne. Som eksempel kan vises resultaterne fra beregninger med modellen, hvor der anvendes regnvand eller nedvises. Resultaterne fremgår af figur 4.

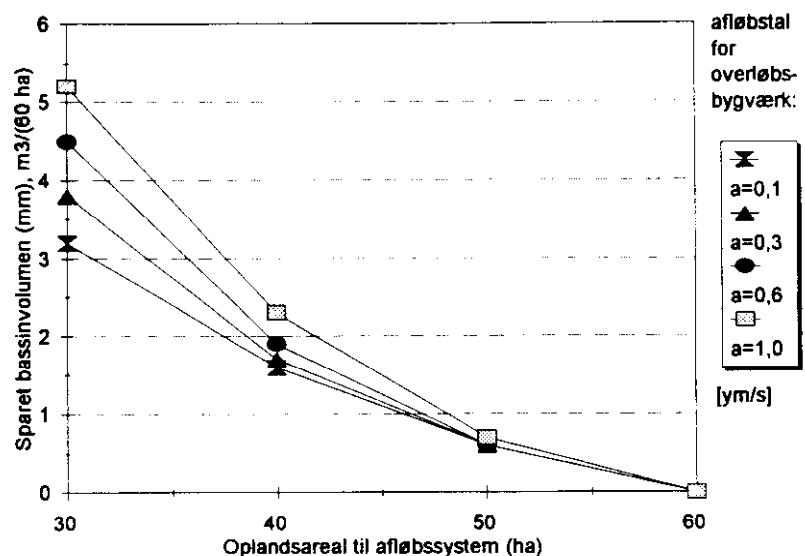
Bilag 1



Figur 4

Resultater af beregninger med modellen, hvor der anvendes regnvand. Der er anvendt afløbstallene $a = 0.1, 0.3, 0.6$ og $1.0 \mu\text{m/s}$. Effekten af regnvandsanvendelse er størst i forhold til situationen, hvor der ikke anvendes regnvand (= 60 red. ha.), ved det største afløbstal (afløbskapacitet i forhold til befæstet opland).

Det "sparede" bassinvolumen for samme afløbstal og samme reducerede arealer fremgår af figur 5.



Figur 5

Det "sparede" bassinvolumen for samme afløbstal og samme reducerede arealer.

Bakterier og protozoer i regnvand

Bakterier i regnvand

Familien Enterobacteriaceae

Enterobacteriaceae omfatter de grupper af gram neg. stave, hvis naturlige miljøer er tarmkanalen og fækalt forurenede medier. Til denne familie hører *Salmonella*, *Shigella*, termotolerante coliforme bakterier; herunder *E. coli*, og coliforme bakterier. Nogle slægter er patogene tarmbakterier (*Salmonella*, *Shigella*), mens andre optræder som normale tarmbeboere (*Escherichia*) eller i jord, vand mv. (*Klebsiella*).

Der kan ikke tegnes en skarp grænse mellem patogene og nonpatogene arter, idet de sidstnævnte lejlighedsvis kan optræde som sygdomsårsag såvel i tarmkanalen som andetsteds.

De fleste bakterier har vækstområde inden for 10-42°C med optimum 25-40°C. Blandt disse vokser de patogene bakterier bedst ved 37°C.

Størstedelen af bakterierne, herunder de fleste patogene, vokser bedst i medier med pH mellem 6-8.

Salmonella

Beskrivelse:

Salmonella hører til familien Enterobacteriaceae. Slægten *Salmonella* omfatter over 200 serotyper. Bakterien har evne til at vokse i et bredt temperaturinterval (6-7°- 41°C) og i et bredt pH-interval (4.1-9.0).

Forekomst:

Findes primært i tarmkanalen hos dyr og mennesker, hvorfra de kan spredes til omgivelserne (jord, vand, foder og levnedsmidler).

Forekomst af salmonellabakterier i miljøet (gylle, spildevand, slam, jord, overfladevand, måger og andre vilde dyr) er hyppigt registreret.

Infektionsvej:

Smitten sker overvejende ved indtagelse.

Bilag 2

Termotolerante coliforme bakterier

Beskrivelse:

Termotolerante coliforme bakterier omfatter hovedsageligt slægten: *Escherichia*. Termotolerante coliforme bakterier anvendes som indikatorbakterie og indicerer en fækal forurening og hermed en risiko for tilstedsvarsel af sygdomsfremkaldende bakterier.

Temperatur-/vækstområdet ligger i intervallet 18-42°C med 37°C som optimum, men *E. coli* vokser ved 44-45°C.

Forekomst:

E. coli er normalt forekommende i tarmen hos mennesker og varmlodede dyr. Den spredes til miljøet med fæces.

Infektionsvej:

Indtagelse.

Coliforme bakterier

Beskrivelse:

Coliforme bakterier omfatter bl.a. slægterne: *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Escherichia* mv.

Forekomst:

Denne gruppe bakterier er tarmbakterier hos mennesker og dyr, men kan også forekomme naturligt i miljøet.

Coliforme bakterier anvendes ligeledes som indikatororganisme, og påvisning af coliforme bakterier kan skyldes fækal oprindelse, men hidrører lige så hyppigt fra jord og planter.

Klebsiella

Slægten *Klebsiella* tilhører familien Enterobacteriaceae.

De har vækst i intervallet 12-43°C, og deres optimum er ved 37°C.

Forekomst:

Klebsiella forekommer i tarmindhold og på respirationsvejenes slimhinder hos mennesker og dyr samt i jord og vand.

Infektionsvej:

Via beskadigede hudoverflader, indtagelse og formentlig også ved indånding.

Yersinia

Beskrivelse:

Slægten *Yersinia* tilhører familien Enterobacteriaceae og består af 7 arter. De har et temperaturinterval for vækst på 4-42°C og temperatur-optimum for vækst ved 28-29°C.

pH -intervallet for vækst er bredt, for de fleste arter ligger det i området pH 4-10 med optimum ved pH 7,2-7,4.

Forekomst:

Forekommer hos mennesker og dyr samt i jord, vand og levnedsmidler.

Y. pestis : vilde gnavere (ikke set i DK)

Y. pseudotuberculosis: gnavere, fugle

Y. enterocolitica: dyr (svin)

Y. intermedia og *frederiksenii*: vand

Y. kristensenii: jord og vand

Y. ruckeri: vand og fisk

De ovennævnte arter med undtagelse af *Y. pseudotuberculosis* vurderes ikke at have betydning i relation til opsamlet regnvand.

Infektionsvej:

Infektionsvejen er via indtagelse gennem munden.

Familien Pseudomadaceae

Beskrivelse:

Slægten *Pseudomonas* tilhører familien *Pseudomonadaceae*.

Temperaturinterval: 4-43°C. Optimaltemperaturen for flertallet er ca. 28°C, men *Pseudomonas aeruginosa* vokser ved 42°C men ikke ved 4°C.

De har beskedne næringskrav.

Forekomst:

Deres beskedne næringskrav gør dem i stand til at leve mange steder. De forekommer i jord, ferskvand, havvand, drikkevand og på våde overflader.

Overalt, hvor temperatur er > 15 under aerobe forhold og ved høj fugtighed, er bakterierne i stand til at formere sig kraftigt.

De kan opformeres i vand med ringe indhold af organisk stof.

Infektionsvej:

Overføres ved indtagelse, indånding, kontakt og indirekte ved badning.

Familien Legionellaceae

Slægten *Legionella* hører til familien *Legionellaceae*, der består af mere end 30 arter.

De kan vokse ved temperatur op til 45°C og kan påvises ved 65°C.

Forekomst:

Legionella er vandbakterier, der er vidt udbredt i naturen, især knyttet til vand og specielt i varme områder.

Man træffer dem også i køletårne, whirlpools, drikkevand osv.

Bakterien udviser ofte en overraskende overlevelsesevne i miljøet, hvilket kan skyldes de symbiose-forhold, den kan indgå med andre bakterier, alger og protozoer (amøber).

Infektionsvej:

Infektionsvejen er via luften, og intet tyder på, at smitte mellem mennesker forekommer.

Familien Streptococceae

Familien Streptococceae rummer bl.a. slægterne *Streptococcus*, *Pediococcus* og *Aerococcus*.

Slægten *Streptococcus* kan inddeltes i forskellige grupper, hvortil bl.a. enterokokgruppen henregnes.

De "fækale streptokokker" udgøres bl.a. af enterokokker og andre streptokokarter.

De "fækale streptokokker" har et bredt temperaturinterval, strækende sig fra 10°C til 45°C.

Enkelte medlemmer af denne gruppe er relativt termoresistente, dvs. overlever 63°C i 30 min.

Forekomst:

Fækale streptokokker forekommer i tarmen hos mennesker og dyr.

Infektionsvej:

Indtagelse og kontakt.

Anwendung:

Foreslægt anvendt som indikator på fækal forurening, idet de er mere resistente end termotolerante coliforme bakterier.

Protozoer i regnvand

Giardia lamblia

Det er en flagel-protozo, som har en simpel livscyklus i tyndtarmen hos mennesket, den vilde fauna og evt. husdyr (hund og kat).

Forekomst:

Giardia er vidt spredt i naturen og findes hos mere end 40 dyrearter (fugle mv.).

Meget tyder på, at den kan smitte fra dyr til mennesker, /11/. Cysterne udskilles til miljøet med fæces. Cysterne kan overleve længe i vand ved temperatur <10°C, mens de inaktivieres ved omkring 20°C og især ved kogning.

Årsag til drikkevandsbårne sygdomme i Sverige.

Cysten kan holde sig infektios i op til 2 mdr. i vand. Giardia er meget klorresistent.

Infektionsvej:

Indtagelse gennem munden ved optagelse af cyster i vand, der er forurenset med afføring fra inficerede mennesker og dyr.

Cryptosporider

Cryptosporider er placeret som en selvstændig familie (cryptosporidae) under gruppen af coccidier.

Cryptosporider er en tarmcoccidie, der forekommer almindeligt i tarmene hos mennesker og dyr.

Cryptosporider mangler værtsspecificitet og derfor er krydsinfektioner mellem dyrearterne inkl. mennesket almindeligt forekommende, så coccidiosen er en zoonose.

Cysterne kan overleve adskillige måneder i vand ved 4°C. Den infektive oocyst ødelægges ved temperatur under 0°C og over 45°C.

Forekomst:

Dens udbredelse blandt dyr og mennesker er global, og den findes i overfladevand, der er fækal-forurenset, ligesom den er påvist i kloakkerne, vandreservoirer, indsøer, elve, ufiltreret drikkevand og filtreret drikkevand.

Generelt går man ud fra, at den findes i lavt antal i det akvatiske miljø, der modtager kontamineret spildevand fra dyr og mennesker.

Infektionsvej:

Via indtagelse gennem munden.

Smittekilde:

Coccidiens overføres via dyr, levnedsmidler og vand. Årsag til en del vandbårne udbrud.

Bilag 2

Toxoplasma gondii

Udskilles som oocyster i føces fra katte (hovedvært).

Smittevej:

Via indtagelse gennem munden.

Målinger af pesticider i nedbør

Pesticider	Antal prøver n	Fund %	Vol. midd. ng/l	Max. ng/l
Atrazin	54	56	14,1	160
Bentazon	79	27	1,4	32
Cyanazin	54	6	0,5	23
Cypermetrin	47	0		
2,4-D	79	71	2,2	48
DDD-pp	27	0		
DDE-pp	27	0		
DDT-op	27	0		
DDT-pp	27	0		
Deset, atrazin	54	41	5,8	70
Desisop. atrazin	54	0		
Dikamba	79	4	0,1	5
Diklorprop	79	56	2,6	92
Dimetoat	25	4	0,7	20
Fenvalerat	47	0		
HCH-a	27	100	2,6	4
HCH-b	27	0		
HCH-d	27	7	0,1	1
HCH-g	27	100	18,5	73
Malation	52	0		
MCPCA	79	35	3,8	170
Mekoprop	79	53	1,2	46
Metalaxyd	51	12	0,5	20
Pirimikarb	54	7	0,1	5
Propikonazol	47	0		
Simazin	54	33	7,1	140
2, 4, 5-T	76	0		
Terbutylazin	54	35	6,4	50
Triadimenol	52	0		
Triallat	53	4	0,2	9
Trifluralin	53	0		

Kilde: /19/

Indhold af stoffer og organismer i nedbør

Bestanddel eller egenskab	Enhed	Kvali- tets- rav, d- rikkev- and	Vest jylland /32/	Midt- jylland /32/	Sjælland /32/
		Højst tillade- lig værdi	Års middelværdier		
pH		8,5	4,3	4,3	4,5
Calcium	mg Ca/l		0,56	0,64	0,68
Magnesium	mg Mg/l	50	0,6	0,3	0,5
Hårdhed	°dH	5 - 30			
Natrium	mg Na/l	175	6,2	2,1	2,9
Kalium	mg K/l	10	0,5	0,3	0,5
Ammonium	mg NH ₄ /l	0,5	1,5	1,1	1,7
Jern	mg Fe/l	0,2	0,13	0,18	0,17
Mangan	mg Mn/l	0,05	0,006	0,011	0,015
Klorid	mg Cl/l	300	7,6	2,8	3,7
Sulfat	mg SO ₄ /l	250	2,0	1,9	1,7
Nitrat	mg NO ₃ /l	50	1,3	1,1	1,1
Aluminium	mg Al/l	0,2	0,1	0,12	0,12
Cadmium	μg Cd/l	5	0,74	0,21	0,2
Nikkel	μg Ni/l	50	1,3	1,5	1,6
Zink	mg Zn/l	5	0,022	0,034	0,021
Pesticider (total)	μg/l	0,5			
Coliforme kim	pr. 100 ml	i.m.			
Kimtal 37	pr. ml	20			
Fækal. strep- tok.	pr. 100 ml	i.m.			

Indhold af stoffer og organismer i afløb fra tagflader

Bestanddel eller egenskab	Enhed	Kvali- tetskrav, drikke- vand	USA 1982 /17/	Canada /17/	Ham- burg /17/	Stutt- gart /33/	Sve- riga /34/	Tysk- land /17/	Tysk- land /17/	Tysk- land /17/	Tysk- land /17/	Sveri- ge /20/
		Højst til- ladelig værdi		1982	1982							1994
Tagdækning												
pH		8,5	6,2-8,2	6,9-9,3	3,9-6,9	4,62	4-7	4,9	5,9	6,5	6,5	
Calcium	mg Ca/l		1,5-38	1,2-6,8								
Magnesium	mg Mg/l	50	0,2-34	<10								
Hårdhed	*dH	5-30		4,2-18								
Natrium	mg Na/l	175										
Kalium	mg K/l	10										
Ammonium	mg NH ₄ /l	0,5	<0,06	<0,1	0,1-15							4
Jern	mg Fe/l	0,2	<0,11	0,1-0,6								
Mangan	mg Mn/l	0,05	<0,021	<0,06								
Klorid	mg Cl/l	300	8,0-171	1,0-14	0,5-63							
Sulfat	mg SO ₄ /l	250	0,5-36	1,4-8	2-243							
Nitrat	mg NO ₃ /l	50	<8	<1,8	0,9-50	3,12	0,01 -0,1					0,2
Aluminium	mg Al/l	0,2										
Arsen	µg As/l	50		<9	0,2-30							
Bly	µg Pb/l	50	<7	7-80	1-920		<88	<11	<1	<1	<1	10-100
Cadmium	µg Cd/l	5	0,2-3,2		<4,4		<2,1	<1,8	<1,0	<6	<6	1-4
Krom	µg Cr/l	50	<4		0,9-11							
Kobber	mg Cu/l	3	<0,001- 0,16	0,06-0,8	0,013- 5,71							0,01- 1,0
Nikkel	µg Ni/l	50	0,5-10,6									
Zink	mg Zn/l	5	0,001- 0,135	0,3-0,45	0,027-7		0,1- 1					
Nitrit	mg NO ₂ - N/l											0,3
Tot-fosfor	mg P/l											0,3
Susp. stof	mg SS/l											5-50
COD	mg COD/l											10-22
Coliforme kim	pr. 100 ml	i.m.		0		120- 2800						
Kimtal 37	pr. ml	20				5300- 38000						
Fækal. strep- tok.	pr. 100 ml	i.m.										

Indhold af stoffer og organismer i regnvand i samletank

Bestanddel eller egenskab	Enhed	Kvalitetskrav, drukkevand /35/	Poppenbüttel /35/	Sasel /35/	Rissen /35/	St. Georg /35/	Tokyo /22/	Dannebrogs-gade /24/	Evals-gade /3/	Studs-gade /5/
Højst tilladelig værdi										
Tagdækning			farvede sten	beton	farvede sten	tagpap græs				
Beholdermateriale			beton	beton	beton	beton				
pH		8,5	7,6	9,0	6,9	7,5	8,5	6,5-7,6		
Calcium	mg Ca/l		11,6	15,8	9	54,8				
Magnesium	mg Mg/l	50	0,6	0,6	1,3	2,9				
Hårdhed	°dH	5-30	2,3	2,4	1,6	7,9				
Natrium	mg Na/l	175	2,3	7,1	4,3	8				
Kalium	mg K/l	10	3,0	6,9	1,7	11,5				
Ammonium	mg NH ₄ /l	0,5	0,27	0,3	0,2	0,23		0,11-0,13		
Jern	mg Fe/l	0,2	<0,2	<0,1	<0,2	0,53				
Mangan	mg Mn/l	0,05	<0,05	<0,02	<0,05	<0,05				
Klorid	mg Cl/l	300	5,1	7,4	6,7	7,6	7,3			
Sulfat	mg SO ₄ /l	250	12,4	14,2	7,3	87,8	14			
Nitrat	mg NO ₃ /l	50	6,1	5,0	4,4	4,3				
Aluminium	mg Al/l	0,2								
Bly	µg Pb/l	50					40-210			
Cadmium	µg Cd/l	5			< 0,5			<30		
Nikkel	µg Ni/l	50			< 5			30		
Zink	mg Zn/l	5	0,86	0,42	0,42	1,2		2,2-3,3		
							40-210			
Coliforme kim	pr. 100 ml	i.m.			0-140			0-35	37	3731
Kimtal 37	pr. ml	20					16000	>3000	9717	3790
Fækal.streptok.	pr. 100 ml	i.m.								
E-coli	pr. 100 ml				0-140					
Enterokokker	pr. 100 ml				< 340					
Pseudomonas aeruginosa	pr. 100 ml				≤ 100					
Salmonella	pr. 100 ml				< 100					

Dimensionering af beholder

SAMBA-model

Sammenhæng mellem parametre

Formålet med denne SAMBA-model er at analysere sammenhængen mellem størrelse af regnvandsbeholder, forbrug af regnvand samt størrelse af opsamlingsareal.

Modellen er simpelt opbygget af et opsamlingsareal, en regnvandsbeholder og et udløb, se figur 1. Beregningerne er gennemført med en regnserie målt i Måløv 1979-92. Der er gennemført beregninger for følgende parameterstørrelser:

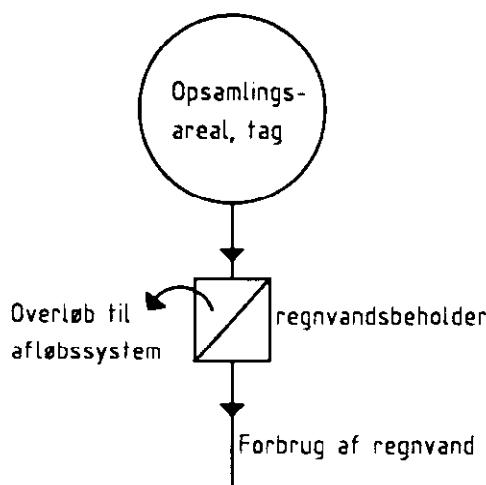
Beholdervolumen/opsamlingsareal:

$$v = \{10; 20; \dots; 70\} \text{ mm}$$

Forbrug af regnvand/opsamlingsareal:

$$a = \{0,010; 0,015; 0,020; 0,030; 0,040\} \mu\text{m/s}$$

Der er regnet med et initialtab på $i = 0,4 \text{ mm}$



Figur 1:

SAMBA-model til analyse af sammenhæng mellem størrelse af regnvandsbeholder, forbrug af regnvand samt størrelse af opsamlingsareal.

ISSN 0908-9195 ISBN 87-7810-566-8
Pris (inkl. 25% moms): kr. 75,-
Kan købes hos: Miljøbutikken
Telefon: 33 37 92 92 Fax: 33 92 76 90

Miljø- og Energiministeriet **Miljøstyrelsen**
Strandgade 29 · 1401 København K · Telefon 32 66 01 00