



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Livscyklusvurdering af anlæg til forsyning af sekundavand i København

Maj 2011

Kolofon

Titel:

Livscyklusvurdering af anlæg til forsyning af sekundavand i København

Emneord:

Gråtvand vand fra håndvask og bad, grundvand, brakvand, regnvand.

Projektmidler:

Projektet er gennemført med støtte fra tilskudsmidlerne i forbindelse med den miljøteknologiske handleplan.

Udgiver:

Naturstyrelsen

Forfatter:

Nanja Hedal Kløverpris & Anders Schmidt, FORCE Technology

Medforfatter:

Anja Collin Højen & Morten Andersson Moe & Brødsgaard

Sprog:

Dansk

År:

2011

ISBN nr.

978-87-92708-29-8 (PDF)

Udgiverkategori:

Statslig

Resume:

Anvendelsen af sekundære vandressourcer undersøgt af Københavns Energi. Hovedformålet med projektet er at kunne sammenligne miljøbelastningen ved primærvand og sekundavand.

Resultaterne viser, at elforbrug til drift og besparelser i spildevandsrensning er helt afgørende for resultaterne, mens materialerne er af mindre betydning.

Må citeres med kildeangivelse.

Forbehold:

Naturstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter inden for miljøsektoren, finansieret af miljøministeriet. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for naturstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at styrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

INDHOLD	2
FORORD	3
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	5
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 FORMÅL OG AFGRÆNSNING	13
1.1 FORMÅL	13
1.2 SYSTEMAFGRÆNSNING	13
1.2.1 Funktionel enhed	15
1.2.2 Vurdering af miljøeffekter	15
2 SYSTEMBESKRIVELSE OG DATAINDSAMLING	16
2.1 BESKRIVELSE AF SEKUNDAVANDSANLÆGGENE	16
2.1.1 Gråtvandsanlæg	16
2.1.2 Regnvandsanlæg	17
2.1.3 Boring	17
2.2 VANDFORBRUG	18
2.3 ELFORBRUG TIL DRIFT	18
2.4 SPARET SPILDEVANDSRENSNING	19
2.5 MATERIALEFORBRUG	20
2.6 MILJØBELASTNING FOR MATERIALER OG ELFORBRUG	21
3 RESULTATER	25
3.1 MILJØEFFEKTER OG ENERGIFORBRUG	25
3.2 NORMALISEREDE RESULTATER	26
3.3 OPSKALERING AF RESULTATERNE	27
3.4 USIKKERHEDER	28
4 KONKLUSION	30
5 REFERENCER	31

Bilag A Elforbrug og vandmængder

Bilag B Materialeopgørelser

Bilag C Detaljerede resultater

Forord

Københavns Energi har iværksat en undersøgelse af miljøbelastningen fra en række forskellige typer af vandforsyning. Denne rapport præsenterer resultaterne for tre typer af sekundavandsanlæg, som kan anvendes til forsyning af vand til toiletter i et lejlighedskompleks. Sekundavand betegnes som vand, der ikke har drikkevandskvalitet.

Andre parallelle projekter udført af COWI og DTU har til formål at vurdere miljøbelastningen ved følgende typer af vandforsyning:

- oppumpning, behandling og levering af grundvand
- kulfiltrering og anvendelse af lettere forurenede grundvand
- anvendelse af fersk overfladevand efter kunstig infiltration
- anvendelse af fersk overfladevand efter moderne behandling i anlæg
- afsaltning af brakvand

Moe & Brødsgaard har bidraget med tekniske oplysninger om anlæggene samt materialespecifikationer, mens livscyklusvurderingen er udført af FORCE Technology.

Projektet er støttet af By- og Landskabsstyrelsen under Tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi. Projektleder er Anders Trautner, Københavns Energi.

Sammenfatning og konklusioner

Denne rapport føder ind til et større studie om anvendelsen af sekundære vandressourcer igangsæt af Københavns Energi. Hovedformålet med projektet er at kunne sammenligne miljøbelastningen ved primærvand og sekundavand.

Miljøeffekterne er opgjort som livscyklusvurdering efter UMIP-metoden. I vurderingen indgår således elforbruget til pumpning, rensning og filtrering samt produktion og bortskaffelse af tanke, rør, pumper og andre materialer til følgende tre typer sekundavandsanlæg:

- Gråtvandsanlæg, hvor vand i separate rørstrengene opsamles fra håndvask og bad, behandles og anvendes til toiletskyl
- Boringsvand til toiletskyl, hvor grundvand (brakvand) fra egen boring filtreres og anvendes til toiletskyl
- Regnvandsanlæg, der opsamler og filtrerer regnvand, som anvendes til toiletskyl

Resultaterne er opgjort per m³ primærvand *sparet* ved forsyning med sekundavand til toiletskyl, og de fortæller ikke i sig selv noget om, hvorvidt det er en god idé set fra et miljømæssigt synspunkt at etablere sekundavandsanlæg. Derimod kan de holdes op imod miljøbelastningen fra oppumpning, transport og rensning af en tilsvarende mængde grundvand eller andre former for vandforsyning.

Elforbrug og materialer

Der indgår i alt fire scenarier i studiet – forsyning af hhv. 85 og 295 lejligheder med gråtvand (baseret på et eksisterende anlæg), 85 lejligheder med regnvand og 295 lejligheder med boringsvand. I anlæggene til gråtvand og regnvand er det nødvendigt at tilføre spædevand for at sikre en konstant forsyning.

Elforbruget til anlæggene er beregnet på baggrund af oplysninger fra det eksisterende gråtvandsanlæg til 85 lejligheder samt estimater for pumper. Vi har tillagt hele energiforbruget til mængden af sekundavand, da man mister det tryk, der er på spædevandet, og derfor må bruge ekstra energi på at pumpe det op til lejlighederne.

Tabel A. Elforbrug til drift af anlæg

	Elforbrug i kWh per m ³ sekundavand
Gråtvand (85 lejl.)	2,3
Gråtvand (295 lejl.)	1,2
Regnvand (85 lejl.)	0,8
Boring (295 lejl.)	1,1

I gråtvands- og regnvandsanlæggene opsamles og renses vand, som ellers ville være blevet ledt til spildevandsrensning. Man sparer således transport af denne mængde vand til rensningsanlægget og selve processerne på anlægget. Vi har valgt kun at

se på elforbruget til spildevandsrensning (1,17 kWh/m³), da det ikke inden for rammerne af dette projekt er muligt at opgøre de direkte emissioner fra rensningsanlægget.

Vi antager, at anlægget vil have en levetid på 50 år, og materialeforbruget er således først fordelt over 50 år og derefter fordelt på mængden af vand, der løber igennem anlægget om året. De primære materialer, der anvendes i anlæg og rørføring er stål, plast, jern og aluminium.

Resultater og konklusioner

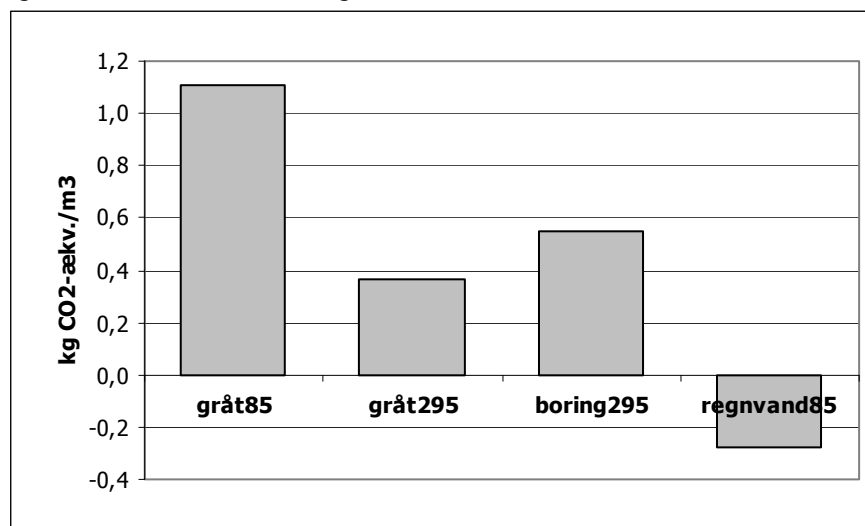
Miljøbelastningen kan vurderes ud fra en bred vifte af miljøbelastninger, men vi har i dette studie begrænset opgørelsen til de oftest opgjorte typer af miljøbelastninger.

Resultaterne viser, at elforbrug til drift og besparelser i spildevandsrensning er helt afgørende for resultaterne, mens materialerne er af mindre betydning, idet miljøbelastningen herfra fordeles over hele anlæggets levetid på 50 år.

Tabel B. Miljøeffekter og energiforbrug per m³ sekundavand for det eksisterende anlæg (gråt85) og de tre modellerede anlæg

Miljøeffekt	Enhed	gråt85	gråt295	boring295	regnvand85
Forsuring	kg SO ₂ -ækv.	0,003	0,001	0,001	-0,0005
Klimaeffekt	kg CO ₂ -ækv.	1,11	0,37	0,55	-0,29
Næringssaltbelastning	kg NO ₃ -ækv.	0,003	0,001	0,001	-0,001
Fotokemisk ozondannelse	kg C ₂ H ₄ -ækv.	0,00010	0,00004	0,00004	-0,00001
Fossil energi	MJ	15	5	7	-4
Fornybar energi	MJ	0,05	0,02	0,08	0,01

Figur A. Samlet klimaeffekt per m³ sekundavand for det eksisterende anlæg (gråt85) og de tre modellerede anlæg



Vurderingen af de fire anlæg viser, at regnvandsanlægget til 85 lejemål har den bedste miljøprofil, idet der rent faktisk er en nettobesparelse i miljøeffekter ved etablering og drift af anlægget. Det skyldes, at der ikke skal bruges energi på at opsamle vandet (det løber automatisk ned i en tank), og at man samtidig forhindrer, at det via kloakken sendes til spildevandsrensning.

Gråtvandsanlægget til 85 lejemål har den største miljøbelastning, men der er en del at hente ved at opskalere anlægget til 295 lejemål, fordi der anvendes mindre el per m³ sekundavand til drift af anlægget.

Boringen kræver mindst energi til drift, men der er ikke som i tilfældet med opsamling af gråtvand og regnvand en besparelse i mængden af spildevand til rensningsanlæg, og derfor falder vurderingen af boringen forholdsvis dårligt ud.

Regnvandsanlægget er begrænset af overfladeareal til opsamling, og der vil være variationer i forholdet mellem regnvand og spædevand fra anlæg til anlæg.

Besparselsen i elforbrug til spildevandsrensning gælder kun i de tilfælde, hvor der er fælleskloakering, dvs. hvor regnvandet ender på et spildevandsrensningsanlæg. Resultaterne for regnvandsanlægget skal således tolkes med forsigtighed.

Summary and conclusions

This report feeds into a major study on the use of non-potable water resources commissioned by Copenhagen Energy. The main purpose of the project is to compare environmental impacts from supply water and non-potable water.

Environmental impacts have been quantified in a life cycle assessment according to the EDIP method. The assessment covers power consumption for pumping, treatment, and filtration as well as manufacture and disposal of tanks, pipes, pumps, and other materials for the following three types of non-potable water facility:

- Grey wastewater facility, where water is collected in separate piping strings from sink and shower, after which it is treated and used for toilet flush
- Well water for toilet flush, where groundwater (brackish water) from own well is filtered and used for toilet flush
- Rainwater facility collecting and filtering rainwater used for toilet flush

Results are stated per m³ of supply water *avoided* by supplying with non-potable water for toilet flush, and they do not *per se* indicate whether it is preferable from an environmental viewpoint to establish non-potable water facilities. However, the study allows a comparison with environmental impacts from pumping, transport and cleaning of a corresponding volume of groundwater or other forms of water supply.

Power consumption and materials

A total of four scenarios are included in the study – supply of 85 and 295 flats respectively with grey wastewater (based on existing facility), 85 flats with rainwater, and 295 flats with well water. In the facilities using grey wastewater and rainwater supply water must be added to secure constant supply.

Power consumption for the facilities is calculated based on information from the existing grey wastewater facility for 85 flats as well as estimates for pumps. The entire energy consumption has been attributed to amounts of non-potable water, since the pressure on supply water is lost and extra energy is needed to pump up water to the flats.

Table A. Power consumption for operation of facility

	Power consumption in kWh per m ³ of non-potable water
Grey wastewater (85 flats)	2.3
Grey wastewater (295 flats)	1.2
Rainwater (85 flats)	0.8
Well (295 flats)	1.1

In the grey wastewater and rainwater facilities water is collected and treated which would otherwise have been led to wastewater treatment. Thus, transport and treatment of this amount of wastewater are avoided. We have chosen only to include power consumption for wastewater treatment (1.17 kWh/m³), since it is not possible within the scope of this project to quantify the direct emissions from the treatment facility.

It is assumed that the lifetime of the building is 50 years, and material consumption has been distributed first on 50 years and then on the annual quantities of water flowing through the facility. Main materials used in facility and piping are steel, plastic, iron, and aluminium.

Results and conclusions

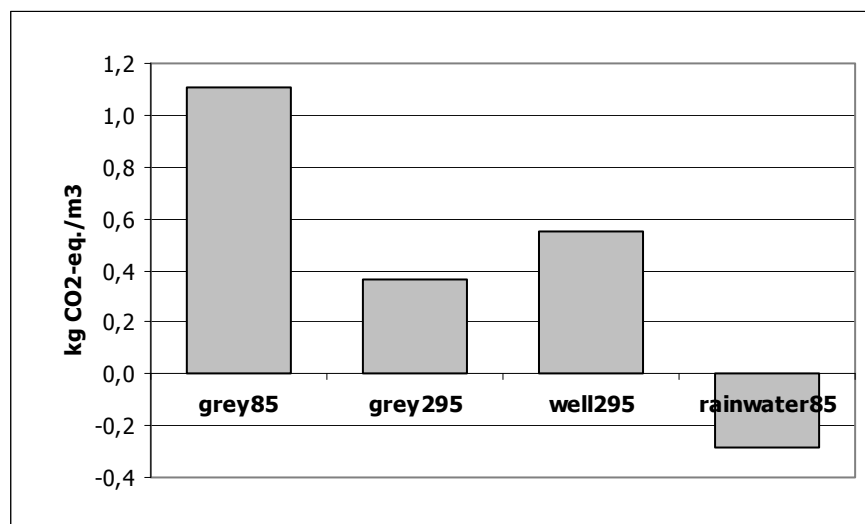
Environmental impacts can be assessed from a broad range of impacts, and in this study we have limited the statement to the most commonly used impact categories.

Results show that power consumption for operation and avoided wastewater treatment are decisive for results, while materials are of less importance since environmental impacts from materials are distributed on the entire useful life of the facility, which is 50 years.

Table B. Environmental impacts and energy consumption per m³ for existing facility (grey85) and three modelled facilities

Environmental impact	Unit	grey85	grey295	well295	rainwater85
Acidification	kg SO ₂ -eq.	0.003	0.001	0.001	-0.0005
Global warming potential	kg CO ₂ -eq.	1.11	0.37	0.55	-0.29
Nutrient enrichment	kg NO ₃ -equiv.	0.003	0.001	0.001	-0.001
Photochemical ozone creation	kg C ₂ H ₄ -equiv.	0.00010	0.00004	0.00004	-0.00001
Fossil energy	MJ	15	5	7	-4
Renewable energy	MJ	0.05	0.02	0.08	0.01

Figure A. Total climate effect per m³ for existing facility (grey85) and three modelled facilities



The assessment of the four facilities shows that the rainwater facility for 85 flats has the best environmental profile, where there would actually be a net environmental benefit from establishment and operation of the facility. This is due

to the fact that no energy is needed to collect rainwater (it flows automatically into a tank) and that this water will not be sent to treatment through the sewer.

The grey wastewater facility for 85 flats has the largest environmental impact, and there would be a benefit in upscaling the facility to supply 295 flats, since less power is used per m³ of water for operation of the facility.

The well scenario requires the least energy for operation, but contrary to collection of grey wastewater and rainwater there are no savings in amounts of wastewater for treatment, which gives this relatively poorer score of the well solution.

The potential of rainwater collection is limited by the area available, and there will be variations in the ratio of rainwater and supply water from one facility to the next. Savings in power consumption for wastewater treatment only apply in areas with joint sewers, i.e. in areas where rainwater ends up in a wastewater treatment plant. Thus, results for the rainwater facility should be interpreted with caution.

1 Formål og afgrænsning

1.1 Formål

Brug af sekundavand i ejendomme reducerer behovet for at anvende primærvand, der i regionen må betragtes som en begrænset ressource, i det mindste på lidt længere sigt. Der er ikke tidligere gennemført analyser af de miljømæssige aspekter ved anvendelsen af sekundavand.

Der er en miljømæssig belastning knyttet til både produktion af anlægskomponenter samt drift og vedligeholdelse. En del af miljøbelastningen ved produktion af råvarer til anlægskomponenterne vil blive betalt tilbage ved at genanvende materialerne, når komponenterne er udtjent og skal udskiftes. Desuden kan materialeforbruget fordeles på hele anlæggets levetid.

Hovedformålet med projektet er at gøre det muligt at vurdere miljøbelastningen ved at anvende primærvand eller en anden drikkevandsforsyning i forhold til at anvende sekundavand.

Miljøbelastningen fra sekundavandsanlægget kan således holdes op imod miljøbelastningen fra oppumpning og transport af en tilsvarende mængde grundvand. Der kan også sammenlignes på tværs af sekundavandsanlæggene eller andre typer af vandforsyning.

Vi understreger, at resultaterne ikke i sig selv fortæller noget om, hvorvidt det er en god idé set fra et miljømæssigt synspunkt at etablere sekundavandsanlæg. En sammenligning på tværs af teknologierne inden for dette studie kan dog give brugbar viden i sig selv.

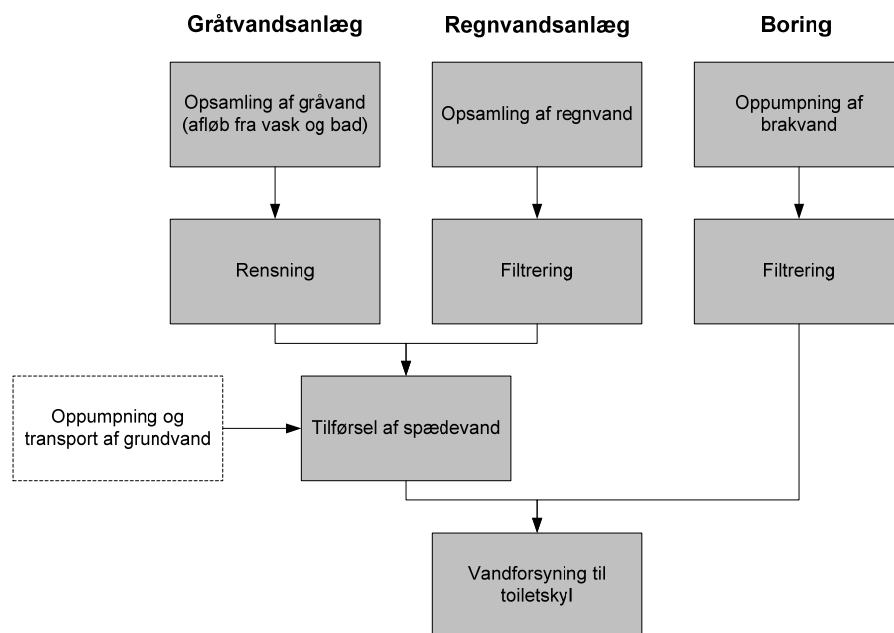
1.2 Systemafgrænsning

Udgangspunktet for analysen er et eksisterende gråtvandsanlæg i lejlighedskomplekset Nordhavnsgården. Det er opstillet som forsøgsanlæg og forsyner 85 lejligheder med vand til toiletskyl. Anlægget er oprindeligt lavet således, at det nemt kan udbygges til at kunne forsyne 295 lejligheder, og rørføringen til alle lejligheder eksisterer. Herudover er to andre typer anlæg til forsyning af toiletter med sekundavand analyseret.

Denne rapport indeholder således en miljøvurdering af følgende tre anlæg:

- Gråtvandsanlæg, hvor vand i separate rørstrengene opsamles fra håndvask og bad, behandles og anvendes til toiletskyl
- Boringsvand til toiletskyl, hvor grundvand (brakvand) fra egen boring filtreres og anvendes til toiletskyl
- Regnvandsanlæg, der opsamler og filtrerer regnvand, som anvendes til toiletskyl

Figur 1.1 viser en oversigt over de tre typer anlæg. Idet mængden af gråtvand og regnvand ikke forventes at dække hele forbruget af vand til toiletskyl, er der mulighed for at tilføre spædevand i form af grundvand fra drikkevandsforsyningen.



Figur 1.1. Flowchart for de tre typer anlæg. Oppumpning og transport af grundvand er ikke medtaget i analysen. Ved boring er der ikke behov for spædevand.

Livscyklusvurderingen er lavet som en såkaldt konsekvens-LCA, hvor kun de aktiviteter, der berøres af en ændring indgår i vurderingen. Dette er i overensstemmelse med det metodegrundlag, som er udviklet og implementeret i danske miljøvurderinger i de sidste 10 år, specielt som et væsentligt element i UMIP-metoden (Wenzel et al., 1997).

Miljøbelastningen ved den daglige drift og vedligeholdelse af anlæg til forsyning af primærvand (spædevand) medtages derfor ikke, da vi antager, at anlægget skal drives under alle omstændigheder. Ved mere radikale ændringer af vandforsyningen, der for eksempel har som konsekvens, at det ikke vil være nødvendigt at etablere nye renseanlæg, skal både den undgåede etablering og den daglige drift dog godskrives i det samlede regnskab.

Konsekvenserne kan således belyses ved at sammenligne et system til primærvand med et eller flere systemer, hvor der anvendes sekundærvand (evt. kombineret med primærvand). I vurderingen indgår elforbruget til pumpning, rensning og filtrering samt produktion og bortskaffelse af tanke, rør, pumper og andre materialer til sekundærvandsanlæggene. Dog er enkelte materialer udeladt, idet de udgør en meget lille del af anlæggene, eller ikke har nogen væsentlig miljøbelastning.

Materialeopgørelsen indebærer en vis forsimpning, dels fordi de tre anlæg ikke reelt eksisterer, dels fordi anlæggene består af mange smådele og komponenter, som er vanskelige at opgøre sammensætningen af. Målet har været, at 90% (w/w) af materialeforbruget skal være dækket af vurderingen, og dette er opfyldt (dog er anvendelsen af jord ifm. etablering af boringen udeladt). Vi har valgt at udelade arealanvendelse (bygningssrum til anlægget) og de belastninger, der er knyttet til at etablere og vedligeholde dette.

Da vi ser på konsekvenserne af en ændring i anvendelsen af vand, er ændringer i mængden af vand til spildevandsrensning også inddraget. Det gælder alle tre typer anlæg, idet der ved opsamling af gråtvand og regnvand undgås en tilsvarende mængde spildevand. For regnvand gælder dette kun i de tilfælde, hvor der er fælleskloakering, hvilket er meget udbredt i København. Oppumpning af brakvand fører til en begrænset mængde ekstra spildevand, se mere herom i afsnit 2.4.

1.2.1 Funktionel enhed

I denne rapport er beregningerne foretaget **per m³ primærvand sparet ved forsyning med sekundavand til toiletskyl**. En grundlæggende antagelse er således, at vandet efter rensning opfylder kvalitetskravene til vand anvendt til toiletskyl.

Ved denne opgørelsesmetode kan resultaterne sammenlignes direkte med andre vandforsyningsmetoder, fx oppumpet grundvand eller afsaltet havvand, såfremt disse er opgjort per m³ vand leveret til forbrugeren.

1.2.2 Vurdering af miljøeffekter

Miljøbelastningen kan vurderes ud fra en bred vifte af miljøbelastninger, og vi har i dette studie inkluderet følgende typer af miljøbelastninger:

- Klimaeffekten (målt i CO₂-ækvivalenter)
- Forsuring (målt i SO₂-ækvivalenter)
- Berigelse med næringssalte (målt i NO₃⁻-ækvivalenter)
- Fotokemisk ozondannelse (målt i C₂H₄-ækvivalenter)
- Brug af energi (målt i MJ)

De nævnte typer af miljøbelastninger er dem, der traditionelt er vigtige i denne type af miljøvurderinger, og hvor både datagrundlag og vurderingsmetode er af høj kvalitet. Det er også muligt kvantitativt at vurdere (lokale) belastninger af økosystemer og menneskers sundhed samt affaldsmængder/typer som følge af diverse udledninger, men disse belastningstyper kan kun vurderes med forholdsvis stor usikkerhed. Konsekvensen for habitater, fx som følge af et ændret vandledningsmønster, kan ikke vurderes kvantitativt med de eksisterende metoder til livscyklusvurderinger, og rapporten giver således primært et overblik over de konventionelle former for miljøbelastning.

Beregningerne er gennemført ved hjælp af PC-værktøjet GaBi4, i enkelte tilfælde suppleret med data fra Ecoinvent-databasen. De valgte miljøbelastninger (dog ikke brug af energi) er normaliseret, hvorved bidraget til de enkelte effekttyper relateres til det bidrag, som en gennemsnitsborger giver per år. På denne måde får man dels et overblik over, hvor stort bidraget til den enkelte effekt er, dels en viden om, hvilken type af effekt der fremstår som den væsentligste i det undersøgte system.

2 Systembeskrivelse og dataindsamling

2.1 Beskrivelse af sekundavandsanlæggene

2.1.1 Gråtvandsanlæg

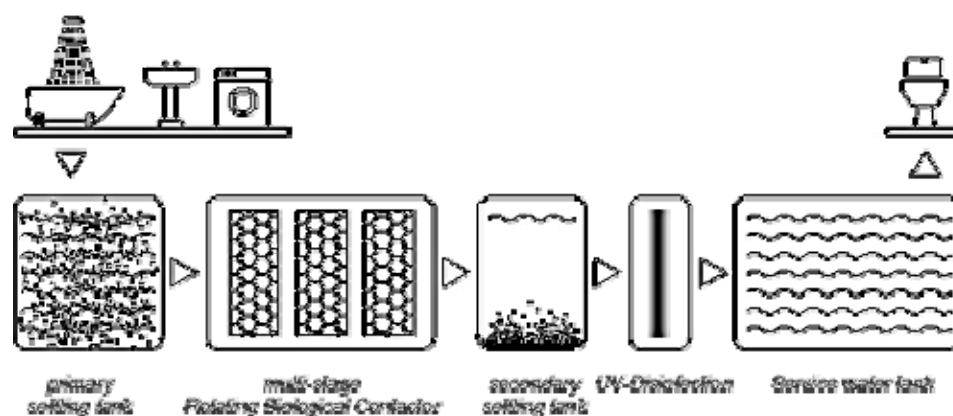
Det eksisterende gråtvandsanlæg er placeret i lejlighedskomplekset Nordhavnsgården på Østerbro i København. Anlægget er etableret i perioden 2001 til 2003 og omfatter 85 lejemål.

Anlægget opsamler badevand og vand fra håndvask (gråt spildevand) fra lejemålene, og det føres i separat faldstamme til kælderen, hvor selve rensenanlægget er placeret. Det grå spildevand opsamles i sedimentationstanke, hvor slammet bundfældes, inden vandet ledes videre til de biologiske filtre, hvor den primære rensning af spildevandet foregår.

Opholdstiden i de biologiske filtre er ca. 3 timer, hvorefter vandet efterklares i en lamel-sedimentationstank. Derefter ledes vandet gennem et sand-/lavastensfilter, inden det pumpes videre til UV-behandling. Det rensede spildevand opbevares efterfølgende i lagertanke, inden det pumpes direkte til toiletter i de enkelte lejemål. For at undgå sammenblanding af drikkevand og sekundavand, er der lavet separat rørføring i bygningen til forsyning af sekundavand til toiletskyl.

Der suppleres med spædevand fra drikkevandsforsyningen, idet mængden af gråt spildevand ikke er tilstrækkelig til at dække behovet for vand til skyl i toiletter. Suppleringen sker i lagertankene ved frit tilløb af drikkevand, når vandstanden er lav, således at det sikres, at der altid er vand til toiletskyl.

Princippet for anlæggets opbygning er illustreret i Figur 2.1. En uddybende beskrivelse af anlægget og de sundheds- og hygiejnemæssige forhold findes i Andersson og Dalsgaard (2004).



Figur 2.1. Principskitse for gråtvandsanlæg. Fra vask og bad ledes det grå spildevand til et simpelt rensningsanlæg bestående af sedimenteringstanke, et biofilter, en

sedimenteringstank til efterklaring, en uv-lampe og lagertanke, før det pumpes op til toiletskyl.

Materialeopgørelsen omfatter selve renseanlægget og de installationer, der er nødvendige for anlæggets funktion. Det har under etablering af renseanlægget været nødvendigt at foretage ombygninger i kælderen for at få plads til det nye anlæg, herunder nedrivning af vægge, flytning af trappe mv. Disse ombygninger er ikke medtaget i opgørelsen for materialeforbrug.

Opgørelsen af materialer er baseret på udbudsoplysninger, anlægsbeskrivelser og datablade fra leverandører samt besigtigelse af anlæg og er udført på baggrund af det eksisterende anlæg, der omfatter 85 lejemål. Mængderne er efterfølgende omregnet til et anlæg, der vil kunne omfatte hele ejendommen på 295 lejemål, herunder ekstra rørføring i kælder samt til det enkelte lejemål og udvidelse af det eksisterende gråtvandsanlæg. Vi har vurderet, at anlæggets størrelse fordobles, og dermed også at det årlige elforbrug til rensning af gråtvand fordobles.

Mængden af slam, der ledes til kloak vurderes at være på 0,2 m³/uge for 85 lejemål og det dobbelte ved 295 lejemål.

2.1.2 Regnvandsanlæg

Til dette studie er der foretaget en opgørelse for et tænkt regnvandsanlæg i Nordhavnsgården, hvor tagvand opsamles via eksisterende tagedløb. Et anlæg vil kræve etablering af nye rørledninger fra tagedløb til hvirvelfiltre, der filtrerer blade og andet materiale fra til eksisterende kloak.

Vandet ledes herfra til bygningen, hvor det opsamles i en stor tank. Herfra føres vandet til en mellembeholder, hvorfra vandet pumpes via separat rørføring til toiletskyl. Der etableres supplerende med drikkevand via frit tilløb til tank, således at det sikres, at der er tilstrækkeligt vand til toiletskyl.

Materialeopgørelsen for regnvandsanlægget er baseret på erfaringer fra eksisterende regnvandsanlæg i andre ejendomme og er opgjort for et anlæg, der supplerer 85 lejligheder i ejendommen. Opsamlingsstanken er således dimensioneret efter det antal m³ regnvand det er muligt at opsamle fra Nordhavnsgårdens samlede tagflade.

2.1.3 Boring

Ved etablering af en boring ved Nordhavnsgården er det muligt at levere sekundært vand fra undergrunden til brug for toiletskyl. I det Nordhavnsgården er placeret tæt på havnen, vil det være brakvand, som pumpes op fra boringen.

Boringen etableres i givet fald i gården ved Østbanegade nr. 155, dvs. tæt på det eksisterende gråtvandsanlæg. Den forventes ført 12-15 meter under terræn. Fra boringen etableres en rørføring ind i bygningen, hvor vandet føres gennem sandfiltre, iltet og ledes til en buffertank, hvorfra vandet pumpes til toiletter via ekstra rørføring.

Det forudsættes, at der er tilstrækkeligt vand i boringen til toiletskyl, således at det ikke er nødvendigt at supplere med drikkevand.

Forbruget af materialer er opgjort på basis af erfaringer fra en tilsvarende boring for sekundavand og projektbeskrivelse fra en entreprenør. Der er foretaget opgørelse for et anlæg der forsyner hele ejendommen på 295 lejligheder.

2.2 Vandforbrug

Opgørelsen af vandforbruget tager udgangspunkt i det eksisterende anlæg på Nordhavnsgården, hvor 85 lejligheder forsynes med sekundavand. I 2008 blev der samlet anvendt ca. 2500 m³ vand til skyl i toiletterne, og heraf var 600 m³ spædevand og 1900 m³ gråtvand fra bad og håndvask (svarende til 76%). Det samlede vandforbrug til toiletskyl i 295 lejligheder er således 8750 m³ om året, og vi antager, at der vil kunne opsamles gråtvand i et tilsvarende forhold som i anlægget til 85 lejligheder (dvs. 6660 m³).

Regnvandsanlægget kræver også tilførsel af spædevand pga. variationen i nedbøren. Der kan opsamles ca. 1100 m³ regnvand om året fra tagarealet på Nordhavnsgården (2550 m²), og med et supplement med drikkevand på ca. 1400 m³ per år, vil anlægget kunne forsyne 85 lejligheder. På Nordhavnsgården vil det ikke umiddelbart være muligt at indsamle regnvand nok til forsyning af de 295 lejligheder.

Der er ikke behov for spædevand ved boring, men de to sandfiltre på hver 400 liter returskylles 1 gang om ugen med en samlet vandmængde på 1,6 m³, der ledes til kloak.

Tabel 2.1 opsummerer vandflowet i det nuværende system og de tre modellerede systemer.

Tabel 2.1. Vandflow i m³ for det eksisterende anlæg og for de tre modellerede anlæg.

	Sekundavand	Spædevand	Sekundavand til returskyl
Gråtvand (85 lejl.)	1920	603	0
Gråtvand (295 lejl.)	6662	2091	0
Regnvand (85 lejl.)	1100	1422	0
Boring (295 lejl.)	8753	0	83

Ved fordeling af elforbrug til drift og materialeforbrug til anlæggene på vandmængder, anvender vi mængden af sekundavand (ekskl. sekundavand til returskyl) som reference, således at resultaterne viser miljøeffekterne per m³ sparet primærvand. Spædevandets opstrøms miljøbelastning er ikke medregnet, da den ikke påvirkes af, at det anvendes som spædevand til sekundavandsanlæggene i stedet for direkte til forsyning.

2.3 Elforbrug til drift

Elforbruget til det eksisterende gråtvandsanlæg kan fastlægges til ca. 4500 kWh/år på baggrund af måleraflæsninger. Heraf anvendes ca. 80% til at drive rensningsanlægget og resten til at pumpe gråtvand og spædevand op til lejlighederne. Vi har tillagt hele energiforbruget til mængden af gråtvand, idet vi antager, at en ”normal” forsyning med drikkevand fra grundvandsboringer til en ejendom som Nordhavnsgården ikke ville kræve en pumpe pga. trykket. Trykket på spædevandet mister man imidlertid, når det løber ned i tankene med gråtvandet. Elforbruget fordelt på mængden af gråtvand er anslået til 2,3 kWh/m³ ved forsyning af 85 lejlemål og 1,2

kWh/m³ ved 295 lejemål. Det lavere energiforbrug per m³ til 295 lejemål afspejler ”stordriftsfordele” i rensningsanlægget.

Det samlede energiforbrug i regnvandsanlægget vil hovedsageligt bestå af energi til pumper, der skal pumpe vand fra kældere til lejligheder. Vi har taget udgangspunkt i de eksisterende pumper i Nordhavngården, og energiforbruget er fordelt på de 1.100 m³. Regnvandsanlægget koster dermed 0,8 kWh/m³ inkl. energiforbruget til at pumpe spædevand op. En større andel af regnvand vil betyde et reduceret elforbrug til anlægget.

Energiforbruget til drift af boringen går til en råvandspumpe, der sidder i selve boringen og løfter vand op til anlægget, en kompressor, der ilter vandet, og til de pumper, der fører vandet til lejlighederne. Det samlede elforbrug til råvandspumpe samt pumper til lejligheder er 1,1 kWh/m³.

Detaljer for opgørelsen af energiforbrug og vandmængder findes i Bilag A.

2.4 Sparede spildevandsrensning

I gråtvandsanlægget opsamles og renses vand, som ellers ville være blevet ledt til spildevandsrensning. Man sparer således transport af denne mængde vand til rensningsanlægget og selve processerne på anlægget. Slammet fra rensningen på Nordhavngården bliver dog ledt til kloakken, og den mængde udgør ca. 1 m³/år på det eksisterende anlæg og vil udgøre ca. 2 m³/år på et anlæg til 295 lejligheder. Det er en ubetydelig mængde i forhold til den sparede mængde spildevand, og vi har derfor set bort fra slammet.

For regnvandsopsamlingen gælder samme princip, nemlig at det opsamlede vand ville være blevet ledt til rensningsanlægget via kloakken, fordi der er fælleskloakering i området. Her er der altså også sparede spildevandsrensning.

Ved boring forholder situationen sig anderledes. Det vand, der bores op, ville ikke være ledt til spildevandsrensning, og faktisk øges mængden af vand til spildevandsrensning, idet der ved rensning af filtrene anvendes ekstra boringsvand, som efterfølgende udledes til kloakken.

Tabel 2.2 angiver vandforbruget (som i Tabel 2.1) og ændringen i mængden af spildevand.

Tabel 2.2. Vandflow i m³ for det eksisterende anlæg og de tre modellerede anlæg. Kolonnen "Spildevand" angiver ændringen i mængden af spildevand. Negative værdier betyder, at der spares spildevandsrensning.

	Sekundavand	Spædevand	Sekundavand til returskyl	Spildevand
Gråtvand (85 lejl.)	1920	603	0	-1920
Gråtvand (295 lejl.)	6662	2091	0	-6662
Regnvand (85 lejl.)	1100	1422	0	-1100
Boring (295 lejl.)	8753	0	83	83

Miljøeffekterne ved spildevandsrensning opstår dels ved produktion af el til at drive pumper og andre dele af anlægget, dels ved direkte emissioner fra eksempelvis nedbrydningen af organisk materialer. Vi har valgt kun at se på elforbruget til

spildevandsrensning, da det ikke inden for rammerne af dette projekt er muligt at opgøre de direkte emissioner fra rensningsanlægget.

Sammen med Københavns Energi har vi anslået, at størstedelen af energiforbruget til spildevandsrensning går til pumper og dermed primært afhænger af mængden af vand og kun i ringe grad påvirkes af forureningsgraden. Ifølge DANVA (2008) er det gennemsnitlige elforbrug til spildevandsrensning 1,17 kWh/m³, og dette elforbrug kobles således direkte til den hhv. øgede eller reducerede vandmængde til spildevandsrensning.

2.5 Materialeforbrug

Det antages, at levetiden af bygningen er 50 år, og dermed at anlægget kører i 50 år, før det rives ned. Dele af anlæggene vurderes at have en levetid på 50 eller helt op til 100 år, mens andre dele har kortere levetid og derfor kræver udskiftning i løbet af de 50 år. Miljøbelastningen fra materialerne er først fordelt over 50 år og derefter fordelt på mængden af vand, der løber igennem anlægget om året.

Tabel 2.3 viser de materialer, der indgår i de tre typer sekundavandsanlæg. En specifikation af materialerne og de enkelte komponenters levetid findes i Bilag B. Der ses bort fra forbrug af lavasten, mineraluld, pærer, polycarbonat, messing, kobber, jord, bentonit og kunstgummi, da der er tale om små mængder (< 2%) og en meget lille miljøbelastning. Materialerne til spædevandstilslutning er inkluderet, da de betragtes som en grundlæggende forudsætning for, at systemerne kan fungere.

Tabel 2.3. Anvendelsen af materialer i anlæg til hhv. gråtvand, regnvand og boring. De grå felter indikerer de materialer, som er udeladt af analysen.

	Gråtvand	Regnvand	Boring
Rustfrit stål	X	X	X
Galvaniseret stål	X	X	X
PE	X	X	X
PP	X	X	X
Jern	X	X	X
Aluminium	X	X	X
Elektronik	X	X	X
Glasfiberarmeret polyester (GAP)		X	
Sand			X
Lavasten	X		
Mineraluld	X		
Pærer til UV-lampe	X		
Polycarbonat	X		
Messing	X		
Kobber	X		
Kunstgummi		X	
Jord			X
Bentonit			X

Der skal etableres ekstra rørføring til at føre sekundavandet fra gråtvandsanlæg, boring eller regnvandsopsamling til skyl i toiletterne. Rørføringen til lejlighederne er ikke ens for de tre scenarier, idet gråtvandsanlægget også kræver, at der etableres en separat faldstamme til opsamling af vand fra håndvask og bad. Desuden kræver rensningen af gråtvand, at der etableres ventilation i kælderen, for at undgå fugtproblemer.

2.6 Miljøbelastning for materialer og elforbrug

Data for materialernes miljøbelastning er primært fundet i de to LCA-databaser GaBi Professional og Ecoinvent. Selve fremstillingen af rør, tanke osv. ud fra råmaterialer er så vidt muligt inkluderet i studiet. Data for fremstilling af materialerne stammer primært fra europæiske brancheorganisationer og er således repræsentative for produktion af materialerne i Europa. Der er ikke indregnet miljømæssige omkostninger til nedrivning af bygningen og transport af affaldet til videre behandling.

Materialernes ”end-of-life” er taget med i beregningerne, men da vi ikke kender fremtidens affaldssystem, beror typen af affaldsbehandling på et skøn. Generelt har vi for metallernes vedkommende (stål og jern) antaget, at de bliver genanvendt, mens plast fordeles på 70% genanvendelse og 30% forbrænding, da vi vurderer, at en del af plastmaterialerne vil være svære at sortere fra til genanvendelse.

Produktion af el indgår flere steder i studiet. Foruden det direkte elforbrug til pumper osv. i brugsfasen er der også i enkelte tilfælde ikke foruddefineret et el-input til fremstillingsprocesser fra LCA-databaserne. Desuden er der ved affaldsforbrænding indregnet sparet elproduktion. Idet vi studerer en ændring fra én type vandforsyning til en anden, skal man se på konsekvensen af et øget eller reduceret elforbrug, den såkaldte marginale elproduktion. I Danmark vil det være de kulfyrede kraftvarmeanlæg, som skruer op eller ned for strømmen, hvis efterspørgslen ændres marginalt (Schmidt og Strömberg, 2006; Energinet.dk, 2008). Altså regner vi elproduktion i Danmark som stammende fra kulkraft, og vi har anvendt LCA-data fra Elfor et al. (2000).

Der findes ikke tilsvarende dokumentation for den marginale elproduktion i Europa, men vi finder det rimeligt at antage, at den består af 50% kulkraft og 50% el produceret fra naturgas. Vi har i analysen kun anvendt et input af udenlandsk el i nogle få tilfælde, og derfor har sammensætningen af brændsler en meget begrænset indflydelse på resultaterne.

Vi har antaget, at alt stål genanvendes ved omsmelting i en såkaldt electric arc furnace. I processen er indregnet et tab på 12,5%. Ved genanvendelse af *rustfrit stål*, fortrænges primær rustfrit stål. Der er ikke taget højde for zink-indholdet ved genanvendelse af *galvaniseret stål*, og vi har antaget, at det galvaniserede stål fortrænger primær stål. Der er for både rustfrit og galvaniseret stål tale om forsimplinger, idet potentialet for genanvendelse er afhængigt af stålets kvalitet. For genanvendelse af *jern* har vi antaget, at omsmelting sker i electric arc furnace som ved omsmelting af stål, og at det erstatter primær jern.

Aluminium anvendes primært til Alu-PEX-rør i kælder ved vandforsyning. Rørene består af et lag aluminium i midten omgivet af et lag polyethylen (PE) udenpå og indeni. Aluminium udgør ca. 90% af vægten af rørene, og vi har derfor antaget, at rørene vil blive bortskaffet som aluminium ved genanvendelse. Det betyder således, at en lille del PE ikke bliver genanvendt som plast, men sandsynligvis deponeret sammen med andre rester fra bearbejdning og omsmelting af aluminium. Det gælder dog kun en meget lille del af det samlede PE-forbrug, og derfor har vi valgt at se bort fra denne manglende genanvendelse af PE-delene i Alu-PEX-rørene.

Genanvendelsen af aluminium er derimod medregnet, men dog med et justeret udbytte på 50%, som erstatter primær aluminium.

Miljøbelastningen for produktion af *elektronik* til elskabet og andre elektroniske komponenter er regnet på baggrund af data fra Ecoinvent. En proces for en kontrol-enhed er rettet til, så det kun er elektronik-indholdet, der regnes på, da stål og plast er talt med på anden vis, se Bilag B. Bortskaffelse af elektronik er ikke medregnet dels pga. mangel på data, dels fordi vi vurderer, at det ikke vil have signifikant indflydelse på resultaterne.

Genanvendelse af plast dækker neddeling, omsmeltning, ekstrudering og granulering. Data er taget fra GaBi-databasen, og videre behandling af scrap fra processerne (hhv. 5% og 2%) er ikke medregnet.

Ved *affaldsforbrænding* i Danmark produceres el og varme, og ifølge Schmidt og Strömberg (2006) vil den fortrængte varme primært være spildvarme. Vi regner således ikke med nogen gevinst for varmeproduktionen. Data for selve forbrændingen af plast stammer fra GaBi-databasen, men er tilpasset dette projekt, idet vi har antaget, at der produceres 0,17 MJ el per MJ affald, jf. Schmidt og Strömberg (2006). Outputtet af el erstatter el produceret på kulfyrede kraftvarmeanlæg.

Vi antager, at bortskaffelsen af *glasfiberarmeret polyester* (GAP) sker ved forbrænding. Der produceres kun energi fra plastdelen (70%), og den er modelleret som forbrænding af polystyren.

I Tabel 2.4 nedenfor er der for hver proces i studiet (produktion og genanvendelse af materialer mm.) angivet, hvor data kommer fra, og hvad processen hedder i den database, den er taget fra. Desuden har vi tilføjet kommentarer, som beskriver anvendelsen af processen og eventuelle antagelser/ændringer.

Tabel 2.4. Processer, der indgår i materialeproduktion og -bortskaffelse, samt datakilder og detaljer om anvendelsen af LCa-data.

Proces i denne analyse	Kilde	Procesnavn i database	Kommentar
Energiproduktion:			
Elproduktion fra kul EU	GaBi/PE	DE: Power from hard coal	50% input til EU elmarginal. Data for tysk anlæg.
Elproduktion fra naturgas EU	GaBi/PE	DE: Power from natural gas	50% input til EU elmarginal. Data for tysk anlæg.
Elproduktion fra kul DK	Elfor m.fl.	DK: Coal power plants 2001	
Energi fra naturgas EU	GaBi/ELCD	EU-25: Thermal energy from natural gas	Anvendes som energiinput til jernproduktion
Metaller:			
Produktion af rustfrit stål	Ecoinvent	RER: Steel, converter, chromium steel 18/8, at plant	
Produktion af galvaniseret stål	GaBi/PE	DE: Steel sheet 1.5 mm hot dip galvan. (0.03mm;1s)	
Produktion af jern	GaBi/PE	DE: Cast iron part (sand casting)	Input af EU el-marginal. Anvendes også i kreditering af genanvendt jern.
Produktion af stål	GaBi/PE	DE: Steel billet	Anvendes i kreditering af genanvendt galvaniseret stål
Genanvendelse af stål	GaBi/PE	DE: Steel billet (electric furnace)	Anvendes for genanvendelse af rustfrit stål, galvaniseret stål og jern.
Produktion af aluminium	GaBi/EAA	RER: Aluminium ingot mix (2005)	Anvendes også i kreditering af genanvendt aluminium
Produktion af aluminiumsrør	GaBi/EAA	RER: Aluminium extrusion profile (2005)	Kun forarbejdning af aluminium
Genanvendelse af aluminium	GaBi/EAA	RER: Aluminium recycling incl. scrap preparation (2005)	Vi antager, et tab på 50% i processen.
Plast:			
Produktion af PE-rør	GaBi/PlasticsEurope	RER: Polyethylene pipe (PE-HD)	Inkl. produktion af PE-granulat
Produktion af PP-granulat	GaBi/PlasticsEurope	RER: Polypropylene granulate (PP)	Anvendes også i kreditering af genanvendt PP
Sprøjtstøbning af PP	FORCE/PlasticsEurope	RER: PP injection moulding	Forsimplet proces baseret på energiinput fra PlasticsEurope report 10 og et antaget spild på 2%.Overhead og rumopvarming er ikke medtaget.

Proces i denne analyse	Kilde	Procesnavn i database	Kommentar
			Input af EU el-marginal.
Produktion af PE-granulat	GaBi/PlasticsEurope	RER: Polyethylene high density granulate (PE-HD)	Anvendes i kreditering af genanvendt PE
Genanvendelse af plast	GaBi/PE	DE: Granulator (30-1500 kg/h throughput) DE: Pelletizing and compounding	Input af EU el-marginal.
Forbrænding af PE	GaBi/FORCE	DK: Polyethylene (PE) in municipal waste incinerator	Baseret på tysk forbrændingsanlæg. Tilpasset danske forhold.
Forbrænding af PP	GaBi/FORCE	DK: Polypropylene (PP) in municipal waste incinerator	Baseret på tysk forbrændingsanlæg. Tilpasset danske forhold.
Forbrænding af PS	GaBi/FORCE	DK: Polystyrene (PS) in municipal waste incinerator	Baseret på tysk forbrændingsanlæg. Tilpasset danske forhold.
Andre materialer:			
Produktion af GAP	GaBi/PE	DE: Rain drain pipe (glass fibre reinforced pipe)	
Produktion af elektronik til elskab	Ecoinvent/ FORCE Ecoinvent	RER: Electronics for control unit GLO: Printed wiring board, mixed mounted, unspec., solder mix, at plant GLO: Cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs, at plant GLO: Cable, network cable, category 5, without plugs, at plant GLO: Cable, connector for computer, without plugs, at plant	Kabler og printplader baseret på Ecoinvent-proces. Input af stål og plastic er fjernet, da det er regnet med på anden vis i dette projekt.

Note: GLO=Global, RER=Europa, DK=Danmark, DE=Tyskland

3 Resultater

Resultaterne er opgjort i udvalgte miljøeffektkategorier og energiforbrug per m³ sparet primærvand og kan således holdes op imod miljøbelastningen ved levering af 1 m³ primærvand (drikkevand).

Der er opstillet fire scenarier:

- gråt85 – gråtvandsanlæg, der forsyner 85 lejemål
- gråt295 – gråtvandsanlæg, der forsyner 295 lejemål
- boring295 – oppumpning af brakvand til forsyning af 295 lejemål
- regnvand85 – opsamling af regnvand til forsyning af 85 lejemål

Detaljerede resultater fordelt på produktion af materialer, energiforbrug til at drive anlæggene, sparet spildevandsrensning og materialernes ”end-of-life” findes i Bilag C. De detaljerede resultater for klimaeffekt og fossil energi er dog også medtaget i præsentationen af resultaterne herunder.

3.1 Miljøeffekter og energiforbrug

Tabel 3.1 viser de samlede miljøeffekter og energiforbrug per m³ sparet primærvand i de fire anlæg.

Tabel 3.1. Miljøeffekter og energiforbrug per m³ for det eksisterende anlæg og de tre modellerede anlæg

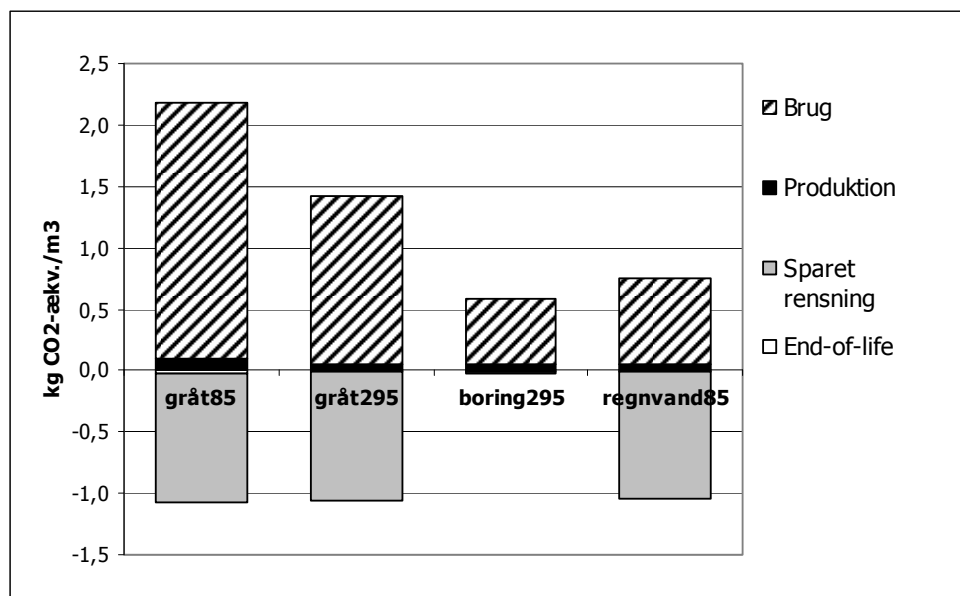
Miljøeffekt	Enhed	gråt85	gråt295	boring295	regnvand85
Forsuring	kg SO ₂ -ækv.	0,003	0,001	0,001	-0,0005
Klimaeffekt	kg CO ₂ -ækv.	1,11	0,37	0,55	-0,29
Næringssaltbelastning	kg NO ₃ -ækv.	0,003	0,001	0,001	-0,001
Fotokemisk ozondannelse	kg C ₂ H ₄ -ækv.	0,00010	0,00004	0,00004	-0,00001
Fossil energi	MJ	15	5	7	-4
Fornybar energi	MJ	0,05	0,02	0,08	0,01

Ud af de fire anlæg er det gråtvandsanlægget til 85 lejemål, der giver den største miljøbelastning, og der er en gevinst at hente per m³ ved at udvide anlægget til at forsyne 295 lejligheder, fordi der bruges mindre el og færre materialer per m³ vand, der løber igennem systemerne. Regnvandsanlægget giver negative værdier, hvilket betyder at der isoleret set er en miljøgevinst ved anlægget.

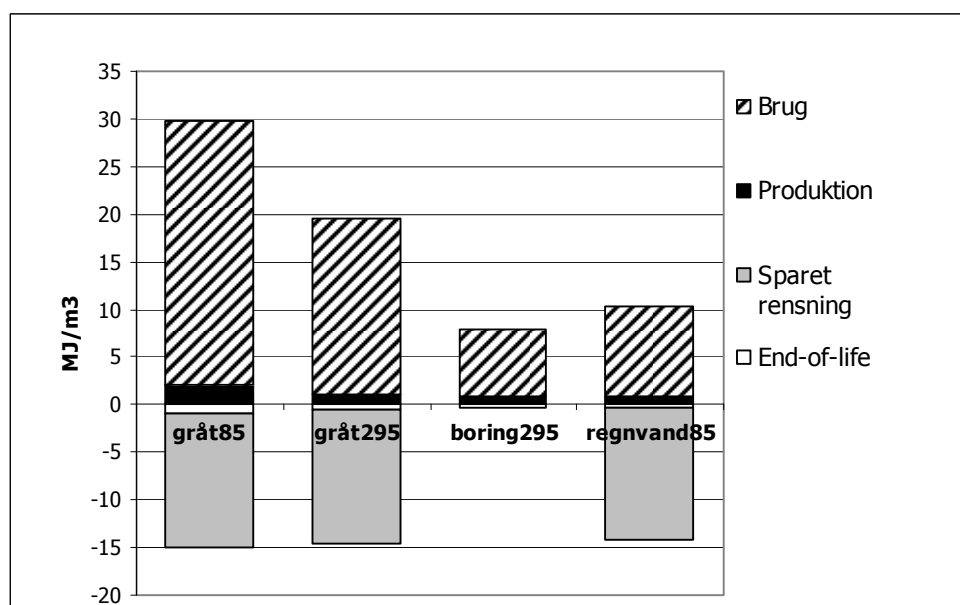
Figur 3.1 og Figur 3.2 viser de detaljerede resultater for klimaeffekt og forbrug af fossil energi. Profilerne for de to typer miljøeffekter er meget ens, og det skyldes, at elproduktion har en meget stor betydning i analysen.

Det fremgår tydeligt, at produktion og bortskaffelse af materialer kun har mindre betydning for resultaterne. Det er derimod miljøbelastningen til el i brugsfasen og i den sparede spildevandsrensning, der er afgørende. For både gråtvandsanlæg og regnvandsanlæg undgås rensningen af spildevand, idet gråtvandet bliver recirkuleret og renses og regnvandet opsamlet i stedet for at blive ledt direkte til kloakken. I områder hvor der ikke er fælleskloakering, vil der ikke være nogen gevinst i form af sparet rensning, da regnvandet i stedet vil blive ledt direkte til recipienten.

Boringen kommer på trods af at den har den laveste miljøpåvirkning ved brug ud som et dårligere anlæg end gråtvandsanlægget til 295 lejemaal og regnvandsanlægget til 85, fordi der ikke anvendes ”eksisterende” spildevand.



Figur 3.1. Klimaeffekt fordelt på brug, sparet spildevandsrensning samt materialernes produktion og end-of-life

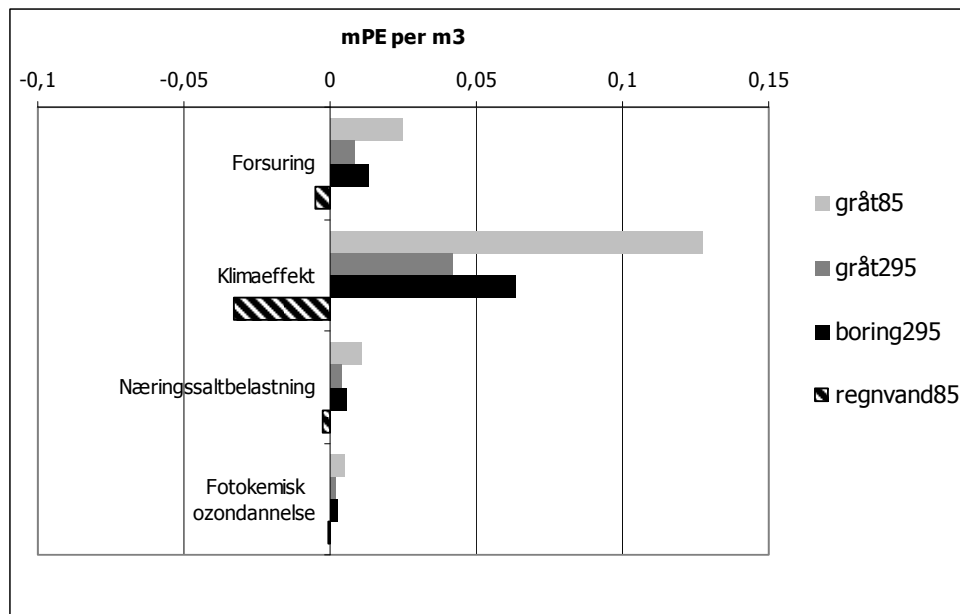


Figur 3.2. Forbrug af fossil energi fordelt på brug, sparet spildevandsrensning samt materialernes produktion og end-of-life

3.2 Normaliserede resultater

For at få et indtryk af størrelsesordenen af miljøeffekterne holdes de op mod de miljøeffekter, som en gennemsnitsperson forårsager per år. Denne del af livscyklusvurderingen kaldes normalisering, og normaliseringsreferencerne er fra Stranddorf et al. (2005). De normaliserede resultater er udtrykt i personækvivalenter (PE) eller millipersonækvivalenter (mPE), hvor en mPE svarer til en tusindedel af en personækvivalent.

Figur 3.3 viser de normaliserede resultater, og det ses tydeligt, at bidraget til klima-effekten er den væsentligste miljøpåvirkning for alle anlæggene, mens forsuring, næringssaltbelastning og fotokemisk ozondannelse har mindre betydning.



Figur 3.3. Den samlede miljøbelastning for hvert af de fire anlæg målt i milli-personækvivalenter per m³

Da resultaterne ikke kan tolkes som den faktiske miljøbelastning ved forsyning af 1 m³ vand, tjener denne opgørelse i personækvivalenter mest til at illustrere størrelsesforholdet mellem de enkelte miljøeffekter. Miljøbelastningen ved forsyning af 85 lejemål med 76% gråtvand fra det eksisterende gråtvandsanlæg giver således en klimaeffekt svarende til 0,24 personækvivalenter eller 24% af en danskers gennemsnitlige udledning af klimagasser på et år. Disse resultater skal holdes op imod en alternativ vandforsyning, fx grundvand pumpet op og transporteret til ejendommen.

3.3 Opskalering af resultaterne

Eftersom denne rapport føder ind til et større projekt om alternative vandforsyningsmetoder i København, kan det blive aktuelt at opskalere resultaterne. Der vil kunne etableres anlæg som de analyserede anlæg i andre boliger i Københavnsområdet, men en eventuel opskalering bør udføres med en vis forsigtighed for de tre typer af anlæg.

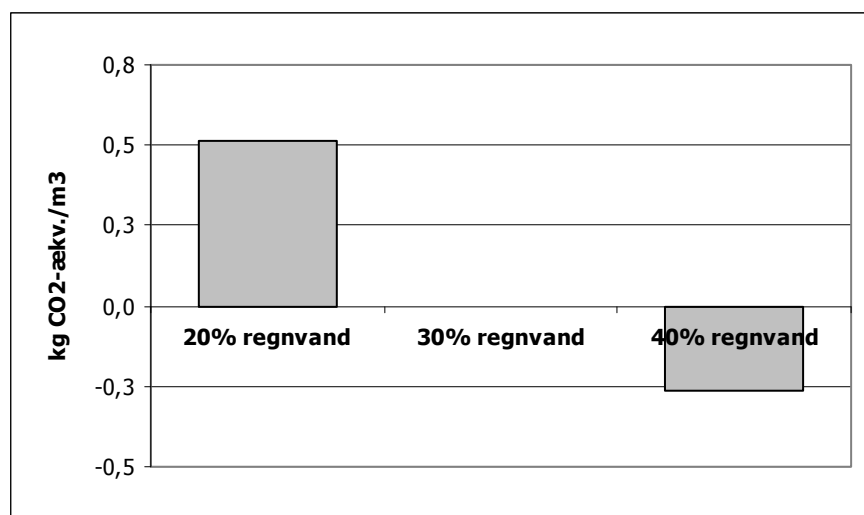
Potentialet for gråtvandsopsamling set i forhold til forbruget af vand til toiletskyl kan antages at være det samme per lejemål, og derfor kan dette anlæg fx relativt nemt opskaleres til 295 lejemål, som det er gjort i dette projekt. Hvis der etableres et gråtvandsanlæg til et større boligområde, vil det ikke nødvendigvis kunne drives med den samme miljøbelastning, idet vandet måske skal pumpes over større afstande osv. Resultaterne for gråtvandsanlægget kan således kun skaleres op i den forstand, at der etableres flere anlæg til ca. 85/295 lejemål.

Forsyning med vand fra boringsanlægget er blandt andet begrænset af, hvor stor vandtilstrømning til reservoiret er, og hvor meget vand der kan pumpes op uden det får betydning for husenes fundering. Der er ikke behov for spædevand, og der er derfor et større potentiale i besparelse af primærvand end for de andre anlæg, som kræver input af spædevand. Da energien til pumper er den primære miljøbelast-

ning, vil en boring placeret længere fra boligerne føre til en større miljøbelastning. Resultaterne kan således opskaleres under hensyntagen til dette aspekt.

Regnvandsanlægget er begrænset af overfladeareal til opsamling, og det skal tages med i betragtning ved en eventuel opskalering. Idet elforbruget er opgjort per m^3 regnvand, bliver den direkte miljøbelastning fra anlægget større, jo mere spædevand anlægget kræver. Det skal holdes op imod besparelsen i spildevandsrensning, som vil være $1,17 \text{ kWh/m}^3$ uanset hvor meget spædevand, der tilsættes. Det sparede elforbrug til spildevandsrensning gælder kun i de tilfælde, hvor der er fælleskloakering, dvs. hvor regnvandet ender på et spildevandsrensningsanlæg. Hvis der derimod ikke er fælleskloakering, vil der være tale om en meget lille (eller ingen) besparelse.

Regnvandsanlægget til 85 lejemål i Nordhavnsgården har med de givne forudsætninger en meget god miljøprofil (det er en gevinst for miljøet). Det er en vigtig antagelse, at regnvandet udgør ca. 40%, men dette vil i mange tilfælde ikke vil kunne lade sig gøre. For et regnvandssystem med 30% regnvand og 70% spædevand vil elforbruget til at forsyne lejlighederne gå lige op med det sparede elforbrug til spildevandsrensning, og miljøbelastningen vil således være tæt på nul. Hvis man derimod har et anlæg med 20% andel af regnvand, vil fx klimaeffekten være omkring $0,5 \text{ kg CO}_2\text{-ækv. per m}^3$ sekundavand, og anlægget vil dermed have omtrent samme miljøbelastning som boringsanlægget. Dette er illustreret i Figur 3.4. Der er i disse beregninger set bort fra materialerne.



Figur 3.4. Klimaeffekt per m^3 sekundavand for regnvandsanlæg med hhv. 20%, 30% og 40% andel af regnvand og resterende andel af spædevand. Materialerne er ikke medregnet.

3.4 Usikkerheder

Vi vurderer, at resultaterne er relativt robuste, men analysen har enkelte datamæssige usikkerheder. Først og fremmest er der en naturlig usikkerhed forbundet med opgørelsen af materialerne, da kun det ene af de analyserede anlæg eksisterer på nuværende tidspunkt. Der er desuden forbundet en vis usikkerhed med opgørelsen af miljøbelastningen for de enkelte materialer, især elektronik, som på trods af de relativt små mængder i anlæggene, alligevel udgør en væsentlig del af miljøpåvirkningen fra *materialerne*. Det er svært at opgøre mængden og kompositionen af elektronik præcist, men da materialerne samlet set kun udgør en begrænset del af den samlede miljøpåvirkning, har vi valgt ikke at gå nærmere i detaljer med data for elektronik.

Elforbrug til sekundavandsanlæg og spildevandsrensning er afgørende for resultaterne. Selvom anlæggene ikke eksisterer, og det er svært at opgøre materialeforbrug, kan vi forholdsvis præcist estimere elforbruget til dem, idet vi kender de vandmængder, som skal føres igennem systemerne, fra det eksisterende anlæg og nemt kan opskalere til 295 lejemål. Elforbruget til regnvand er dog meget afhængigt af, hvor meget spædevand, der er behov for i systemet, og derfor er der en ikke ubetydelig usikkerhed forbundet med resultaterne for regnvand sammenlignet med de andre anlæg.

Elforbruget til spildevandsrensning er oplyst af DANVA og er en generel værdi for spildevandsanlæg i Danmark. Vi har valgt kun at se på elforbruget per m³ spildevand, og denne forsimpning bidrager også til usikkerheder i resultaterne.

Resultaterne kunne således forbedres ved at indsamle mere præcise oplysninger om spildevandsbehandling i København. Vi vurderer dog, at størrelsesordenen for miljøbelastningen ikke vil ændre sig.

4 Konklusion

Denne rapport om sekundavandsanlæg er en del af et større studie af vandforsyningen i København. I livscyklusvurderingen af forsyningen med sekundavand er miljøeffekterne *opgjort per m³ sparet primærvand*. Det betyder, at resultaterne kan holdes op imod miljøeffekterne fra andre teknologier til vandforsyning.

Med udgangspunkt i et eksisterende gråtvandanlæg i København, har vi undersøgt miljøeffekterne fra fire anlæg:

- Gråtvandsanlæg, hvor vand i separate rørstrengene opsamles fra håndvask og bad, behandles og anvendes til toiletskyl i 85 lejemål.
- Gråtvandsanlæg med tilsvarende opsamling og rensning til 295 lejemål.
- Boring, hvor grundvand (brakvand) fra egen boring filtreres og anvendes til toiletskyl i 295 lejemål.
- Regnvandsanlæg, der opsamler og filtrerer regnvand, som anvendes til toiletskyl i 85 lejemål.

Livscyklusvurderingen dækker materialerne til anlæggene og elforbrug til drift. Derudover har vi medregnet ændringer i tilførslen af spildevand til de kommunale rensningsanlæg. Resultaterne viser, at elforbrug til drift og besparelser i spildevandsrensning er helt afgørende for resultaterne, mens materialerne er af mindre betydning, idet miljøbelastningen herfra fordeles over hele anlæggets levetid på 50 år.

Vurderingen af de fire anlæg viser, at regnvandsanlægget til 85 lejemål har den bedste miljøprofil, idet der rent faktisk er en nettobesparelse i miljøeffekter ved etablering og drift af anlægget. Det skyldes, at der ikke skal bruges energi på at opsamle vandet (det løber automatisk ned i en tank), og at man samtidig forhindrer, at det via kloakken sendes til spildevandsrensning. Sidstnævnte gælder kun i de tilfælde, hvor der er etableret fælleskloakering som i det meste af København. Der bør generelt udvises forsigtighed i forbindelse med tolkning af resultatet for regnvandsanlæg, idet der kan være store forskelle på opsamlingspotentialer.

Gråtvandsanlægget til 85 lejemål har den største miljøbelastning, men der er en del at hente ved at opskalere anlægget til 295 lejemål, fordi der anvendes mindre el per m³ til drift af anlægget.

Boringen kræver mindst energi til drift, men der er ikke som i tilfældet med opsamling af gråtvand og regnvand en besparelse i mængden af spildevand til rensningsanlæg, og derfor falder vurderingen af boringen forholdsvis dårligt ud.

5 Referencer

Andersson, M. og Dalsgaard, A. (2004). *Etablering og drift af anlæg til opsamling, rensning og genanvendelse af gråtvand til toiletskyl og maskinvask af tøj – Nordhavnsgården*. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning Nr. 47 2004, Miljøstyrelsen.

DANVA (2008). *Vand i tal. DANVA's Benchmarking og Vandstatistik 2008*, Dansk Vand- og Spildevandsforening.

Energinet.dk (2008). Personlig kommunikation med miljøkoordinator Christian Friberg Nielsen, Energinet.dk.

Elfor, Elkraft System, Energi E2, Elsam og Eltra (2000). *Livscyklusvurdering af dansk el og kraftvarme*, Hovedrapport, August 2000.

<http://www.dongenergy.com/NR/rdonlyres/D5E12F8A-AC75-47A5-A188-0A9AAE266997/0/LCA.pdf>

Schmidt, A. og Strömberg, K. (2006). *Genanvendelse i LCA – systemudvidelse*, Miljønyt Nr. 81 2006, Miljøstyrelsen.

<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2006/87-7052-165-4/pdf/87-7052-166-2.pdf>

Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. og Schmidt, A. (2005). *Påvirkningskategorier, normalisering og vægtning i LCA*. Miljønyt Nr. 77 2005, Miljøstyrelsen.

<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2005/87-7614-572-7/pdf/87-7614-573-5.pdf>

Wenzel, H., Hauschild, M., og Alting, L. (1997). *Environmental Assessment of Products. Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development*. Klüwer Academic Publishers.