

MAJ 2015  
ELFORSK

# VARMEPUMPER I EKSISTERENDE BEBYGGELSE – FASE 1

345-046 ELFORSK – SLUTRAPPORT

ENGELSK PROJEKTTITEL: "PREFAB HEAT EXCHANGER AND HEAT PUMP MODULE FOR  
HEAT RECOVERY FROM WASTE WATER IN EXISTING BUILDINGS"



**ELFORSK**





MAJ 2015  
ELFORSK

# VARMEPUMPER I EKSISTERENDE BEBYGGELSE – FASE 1

345-046 ELFORSK – SLUTRAPPORT

ENGELSK PROJEKTTITEL: "PREFAB HEAT EXCHANGER AND HEAT PUMP MODULE FOR  
HEAT RECOVERY FROM WASTE WATER IN EXISTING BUILDINGS"

PROJEKTNR. A033968  
DOKUMENTNR. A033968-6  
VERSION 5  
UDGIVELSESDATO 27.08.2015  
UDARBEJDET Peter Weitzmann (COWI), Maja Grud Minzari (COWI), Joakim Larsen (COWI), Esben Vendelbo Foged (TI), Kristian Oluf Sylvester-Hvid (TI)  
KONTROLLERET Reto M. Hummelshøj (COWI) og Esben Vendelbo Foged (TI)  
GODKENDT Reto M. Hummelshøj (COWI)

*Disclaimer:*

*Projektets parter påtager sig ikke ansvar for hel eller delvis videre brug af de i projektet beskrevne løsninger og resultater.*



# INDHOLD

1	Introduktion	7
1.1	Formål	7
2	Sammenfatning	9
3	English summary	10
4	Baggrund	11
4.1	Den oversete energistrøm	11
4.2	Projektets arbejdstese	14
4.3	Teknologier til spildevandsgenvinding	14
4.4	Gældende lovgivning	18
4.5	Decentral varmegenvinding set i den større sammenhæng	18
4.6	Forbrugsmønstre	22
5	Potentialebestemmelse	27
5.1	Energi	27
5.2	Målinger på pilotanlæg i Skovgårdsparken	29
5.3	Målinger ved AB-Manøgade-Vejrøgade.	30
5.4	Marked	33
6	Systemdesign	34
6.1	Funktioner	34
6.2	Anlæg med direkte varmegenvinding (1)	35
6.3	Anlæg med varmepumpe til opvarmning af varmt brugsvand (2)	35
6.4	Anlæg med varmepumpe til opvarmning af både varmt brugsvand og rumvarme. (3)	36

7	Design af komponenter	37
7.1	Præfabrikeret brønd	37
7.2	Varmeveksler	38
7.3	Maceratorpumpe vs. standardpumpe	39
7.4	Varmepumpe og varmtvandsbeholder	39
8	Udvikling af styringsstrategi	40
8.1	Styringsstrategi med fjernelse af urenheder.	40
8.2	Smart Grid	40
9	Beregningsmodel	42
9.1	Forbrugsmønster	42
9.2	Beregninger	44
10	Diskussion og konklusioner	46
11	Bilag A – Udkast til omfangsveksler	47

# 1 Introduktion

Denne rapport udgør slutrapporten i ELFORSK-projektet 345-046 "Varmepumper i eksisterende bebyggelse – Fase 1" som er gennemført i perioden 5. februar 2013 – 30. april 2015. Projektet er et forskningsprojekt, der er udført i samarbejde mellem følgende virksomheder:

- > COWI A/S
- > GRUNDFOS A/S
- > Geo Heat Ex Aps
- > Brabrand Boligforening
- > Teknologisk Institut.

Projektet er bevilliget DKK 599.998 i PSO-støtte fra ELFORSK-programmet.

Henvendelse vedrørende projektet kan ske til projektleder:

Reto M. Hummelshøj, COWI A/S  
[rmh@cowi.dk](mailto:rmh@cowi.dk)

Rapporten er udarbejdet af følgende forfattere:

- > Peter Weitzmann (COWI)
- > Maja Grud Minzari (COWI)
- > Joakim Larsen (COWI)
- > Esben Vendelbo Foged (Teknologisk Institut)
- > Kristian Oluf Sylvester-Hvid (Teknologisk Institut)

## 1.1 Formål

Formålet er at udvikle og teste en ny effektiv brøndløsning, som kan bidrage til at genvinde de store mængder spildvarme, som i dag går tabt i bygningers vandafledning.

Projektet vil udvikle et optimeret design og styringssystem velegnet til præfabrikation, som i en efterfølgende fase 2, vil resultere i en standardforsyningsløsning til etagebyggeri. Teknologien baseres på anvendelse af en optimeret afløbs-

komponent, hvorfra en varmepumpe og en indbygget varmeveksler og rensesystem kan integreres effektivt med et minimum af indgreb i bygningen og dens installationer. Løsningen egner sig særligt til eksisterende etage- eller institutionsbyggerier, hvor brugsvandsopvarmning pt. tegner sig for ca. 25% af varmebehovet op mod 50% i nye eller energirenoverende boliger.

Med den nye teknologi vil en stor del af spildvarmen kunne genanvendes til brugsvandsopvarmning ved et lavt elforbrug. Projektets vil udvikle, teste, eftervise, raffinere og forberede udbredelsen af løsningen under danske forhold, herunder lovgivningsmæssige og praktiske udfordringer. Der vil blive foretaget målinger på et eksisterende pilotanlæg for at eftervise potentialet, samt undersøge forbrugsmønstre og perspektiverne for at udnyttelse i fremtidens Smart Grid struktur.



## 2 Sammenfatning

Formålet med projektet er, at udvikle en teknologi til genvinding af varme fra gråt og sort spildevand fra eksisterende etageboligbebyggelser. Varmetabet fra spildevand er en overset energistrøm i forhold til Bygningsreglements energirammekrav. Gennem de senere år er andelen af varmebehovet til varmt brugsvand steget fra ca. 25% i eksisterende byggeri til omkring 35% i energirenoveret byggeri. I nybygget lavenergiklasse 2015 byggeri endda helt op mod 50% af det samlede varmetab i bygningen.

I projektet indgår et system bestående af en lagringstank f.eks. i form af en præfabrikeret spildevandspumpebrønd f.eks. fra Grundfos, eller indgreb i eksisterende brønd og etablering af varmeveksler til en varmepumpe, der benyttes til produktion af varmt brugsvand. Med varmtvandsbeholder og volumen i spildevandsbrønd kan varmepumpen drives tidsforskudt af varmtvandsforbruget og derved indgå i en Smart Grid styringsstrategi, så varmepumpen primært aktiveres, når der er billig og miljørigtig strøm til rådighed.

### 3 English summary

The project objective is to develop a technology for heat recovery from waste water with use of separation system aimed at existing multi apartment buildings. Recovery of heat loss from waste water has not been considered much earlier, but energy for production of domestic hot water is in Denmark about 25% of the total heating demand for existing buildings and about 50% for new build low energy houses (building class 2015) i.e. an significant amount of the added heating energy will leave the building through the waste water system.

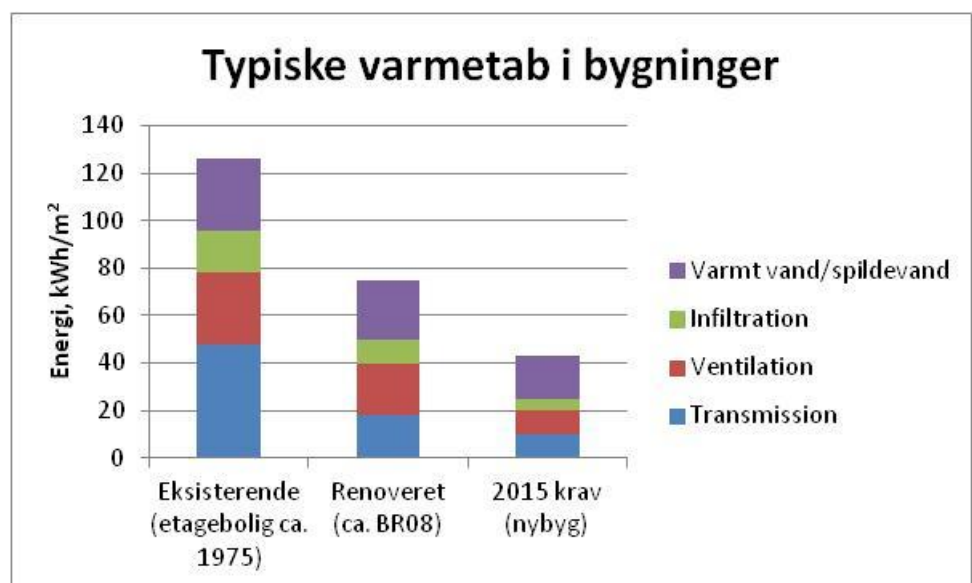
The project is based on a system with a wastewater storage e.g. as a prefab wastewater manhole with pump as man. Grundfos or as modification of an existing manhole. In the manhole a special heat exchanger is installed and coupled to a heat pump which can produce domestic hot water for a domestic hot water tank. The buffers in the waste water tank and the domestic hot water tank enables the heat pump to be operated independent of the demand and domestic hot water, which introduces flexibility and use of a smart grid ready control strategy.

## 4 Baggrund

### 4.1 Den oversete energistrøm

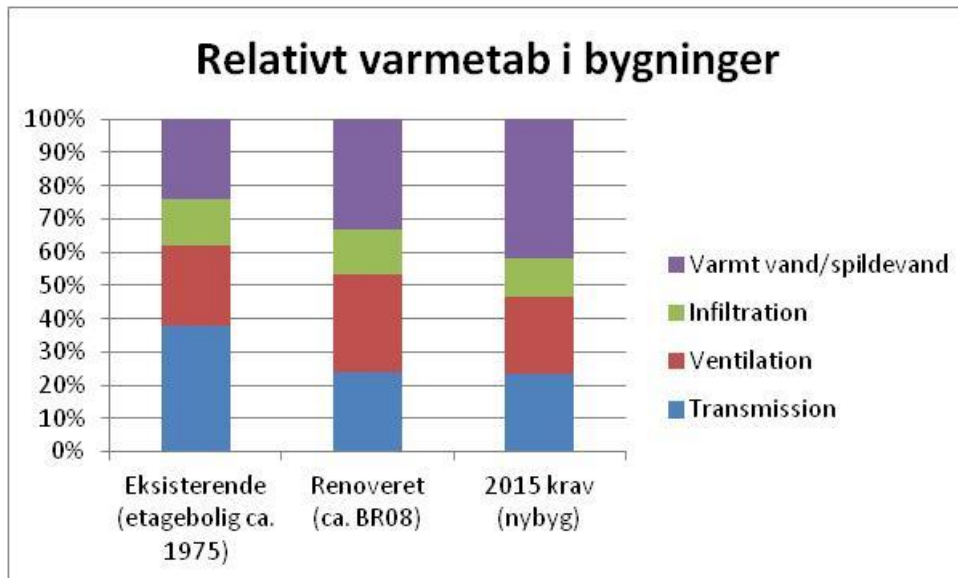
Varmetabet i en typisk bolig i dag er på ca. 120-140 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, baseret på tal fra Varmeplan Danmark. Dette fordeles her på transmissionstab, ventilationstab, infiltration og varmt vand. Ved en gennemgribende renovering - eller for bygninger opført efter kravene i BR08 falder dette behov til måske 70-80 kWh/m<sup>2</sup> pr. år. Nybyggeri efter klasse 2015 ligger i overkanten af 40 kWh/m<sup>2</sup> pr. år. Bemærk, at de to sidste tal afviger noget fra energirammekravene i bygningsreglementet, da tallene medtager de faktiske forhold, hvor beboerne blandt andet generelt har højere rumtemperatur end forudsat.

Som det ses på Figur 1, er der gennem årene sket store besparelser på bygnings varmetab både mht. transmission, ventilation og infiltration. Det sidste forbrug - det varme brugsvand - er der ikke ændret synderligt ved, bortset fra en generel forbedret isolering af cirkulationsledninger.



Figur 1: Typisk årligt varmetab i eksisterende byggeri, renoveret byggeri og nybyg efter klasse 2015

Hvis der i stedet ses relativt på tallene, som illustreret ved Figur 2, ses det, at andelen af varmt brugsvand stiger fra at udgøre ca. 25% af det samlede energiforbrug, via ca. 35% for en renoveret bygning til over 40% og op mod 50% for nybyggeri efter klasse 2015 kravene.



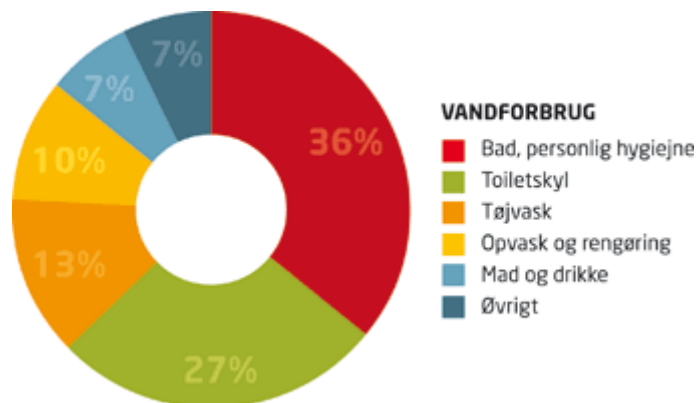
Figur 2: Relativt varmetab fra bygninger baseret på samme data som fra Figur 1

For nybyggeri kan det ses, at efterhånden som det bliver sværere at overholde kravene til transmissions- og ventilationstab, vil det være oplagt, at næste trin i bestræbelserne på at minimere energiforbruget til en bygning, vil være at kigge på genvinding af spildevandet.

#### 4.1.1 Forbrug af varmt vand

Betragtes det faktiske forbrug af vand i en dansk husholdning findes generelt tal mellem 100 l/person/dag og 140 l/person/dag. Heraf udgør det varme brugsvand omkring 40%. I det følgende regnes med et forbrug på 115 l/person/dag, som giver et varmtvandsbehov på omkring 45 l/person/dag. Ifølge Danmarks Statistik er det samlede vandforbrug faldende, mens varmtvandsforbruget de sidste 20 er steget fra 10 m<sup>3</sup> pr. person pr. år til 15 m<sup>3</sup> pr. person pr. år.

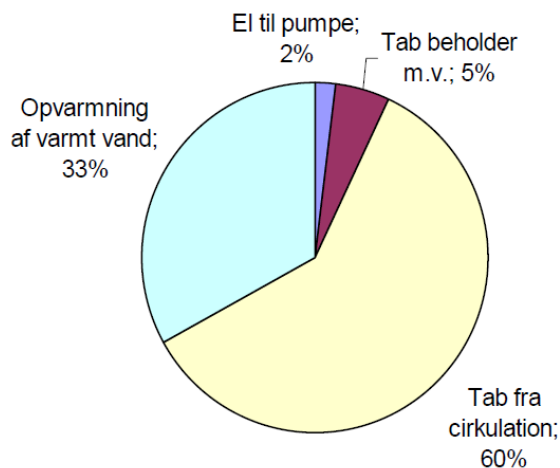
Flere vandværker har på deres hjemmeside en figur som den vist på Figur 3, der angiver en omtrentlig fordeling af vandforbruget på kilder. Heraf fremgår, at de to hovedkilder til varmt brugsvand, som er bad og opvask, tilsammen udgør ca. 45%. Heraf vil en del af vandet være koldt, så derfor antages de før nævnte 40%.



Figur 3: Fordeling af vandforbrug i private husstande. Kilde: <http://www.energidmidt.dk/Privat/El-vand-og-varme/Tips-og-raadgivning/Gode-raad-om-vand/Sider/Gode-raad-om-vand.aspx>

Det er dog ikke al energien til opvarmning af det varme brugsvand, der skylles ud med badevandet. En rapport fra SBI viser, at varmetab fra cirkulationsledninger i storebygninger kan udgøre ca. 60% af det samlede energiforbrug til opvarmning af varmt brugsvand og tabet herfra kommer kun bygningen til gode i opvarmningssæsonen. Det er kun ca. 33%, der går direkte til opvarmning af vand. Se Figur 4 nedenfor.

### Etageboliger



Figur 4: Eksempel på fordeling af energiforbrug til varmt vand i etageboliger med stort cirkulationssystem. SBI-rapport 2009:10 "Varmt brugsvand – måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger"<sup>1</sup>.

Ud fra disse tal, kan det beregnes, at der er et dagligt behov for opvarmning af det varme brugsvand fra 10°C til 55°C på ca. 2,4 kWh/dag/person. Her ses der i øvrigt bort fra el-opvarmet vand til madlavning samt opvask og tøjtøjt i maskine.

<sup>1</sup> SBI-rapport 2009:10 "Varmt brugsvand – Måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger", <http://www.sbi.dk/byggeteknik/installationer/varmt-brugsvand/varmt-brugsvand>

Denne energimængde sendes direkte ud i spildevandet via bygningens afløb, og energien benyttet til det varme vand spildes derfor efter brug.

## 4.2 Projektets arbejdstese

Det er dette projekts arbejdstese, at genvinding af energien i spildevand er en anvendelig teknologi, når energien høstes via en varmepumpe og evt. yderligere som forvarmning af det varme brugsvand.

Hvis man kan skille badevand fra andet spildevand, vil man kunne opnå en spildevandstemperatur på ca. 30-33°C ved udløbet. Kan man ikke skille de to spildevands strømme (gråt og sort), vil man kunne typisk opnå temperaturer på mellem 10-25°C.<sup>2</sup> Temperaturen er højest tæt ved kilden og påvirkes af jordtemperaturen i rørtræk uden for bygningen (vintertemperaturen falder typisk til 12-14°C og sommertemperaturen stiger til 20-22°C med døgnvariationer på ca. 3°C). Temperaturen er fornuftige i forhold til hhv. varmegenvinding og nedkøling vha. en varmepumpe. Eventuel tilførsel af regnvand eller smeltevand vil kunne forstyrre billedet.

Samtidig forventes det, at udnyttelsen af spildevandsgenvinding vil betyde, at det er muligt at opnå en næsten 100% genvinding af den energimængde, der udledes via spildevandet. Afkøles spildevandet med varmepumpen yderligere til f.eks. til ca. 4-5 °C, kan der potentielt genvindes en energimængde, der er større end den energi, der er tilført det varme brugsvand.

## 4.3 Teknologier til spildevandsgenvinding

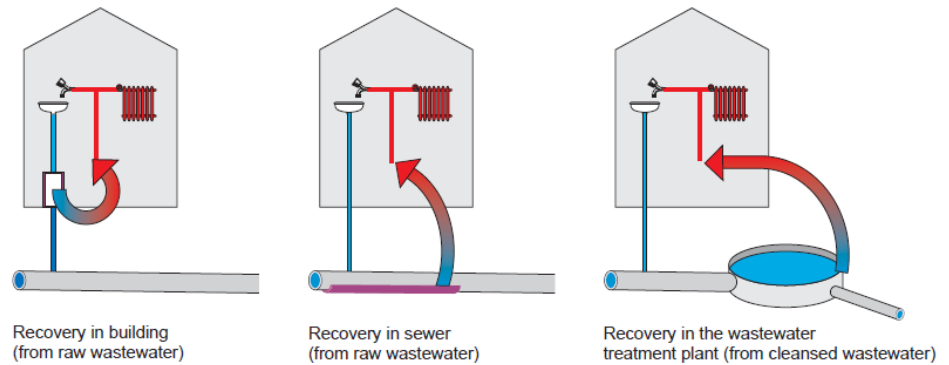
Der er her foretaget et litteraturstudie med det formål at kvalificere dagens state-of-the-art inden for udnyttelse af varmen fra spildevand til genopvarmning af varmt vand og/eller rumvarme.

Der er på europæisk plan igangsat flere aktiviteter, som i det følgende kort oprides. I artiklen "Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers"<sup>3</sup> (Schmid, 2008) beskrives at der i Schweiz og Tyskland er over 500 anlæg inden for de tre områder der vises i figuren nedenfor.

---

<sup>2</sup> "Project Development Guideline", EU-projekt: "Waste Water Heat", 2006-2007.

<sup>3</sup>[http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=en&name=en\\_508290240.pdf](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=en&name=en_508290240.pdf)



Figur 5 Tre principielt forskellige former for udnyttelse af varmen fra spildevand. Figur fra artiklen "Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers" (Schmid, 2008)

Som det ses på de tre tegninger i Figur 5 er det muligt at udnytte varmen på tre principielt forskellige måder:

- > Genvinding direkte i bygningen
- > Genvinding fra fælles kloak
- > Genvinding efter rensningsanlæg

I rapporterne er der kun angivet eksempler fra de to sidste principper fra Figur 5. Herudover er der også løsninger, der udelukkende virker som varmeveksler baseret på store anlæg med meget varmtvandsforbrug.

Yderligere er det tydeligt, at anlæggene ikke er baseret på standardløsninger.

### Genvinding fra fælles kloak eller efter rensningsanlæg

I artiklen er fokus især rettet mod anlæg fra de sidste to kategorier, hvor energien udnyttes fra en fælles kloakledning, der løber forbi bygningen eller via et stort fællesanlæg, der via en stor varmepumpe, leverer varme til en fælles fjernvarmeforsyning.

Især beskrives problemstillinger omkring eksterne faktorer såsom sikring af, at forurening ikke overføres fra spildevand til drikkevand og påvirkning af rensningsanlæg. For førstnævnte beskrives, at man skal være omhyggelig for at undgå spredning af forurening, og at der kræves erfarne installatører for at undgå problemer. For sidstnævnte er der generelt et krav om, at temperaturen af spildevandet i hovedkanalen ikke må sænkes mere end ca. 0,5K inden det når rensningsanlæg.

Herudover er der under forskningsprogrammet Intelligent Energy Europe (IEE) udført et projekt kaldet WasteWaterHeat<sup>4</sup>, der har fokuseret på Tyskland, Schweiz,

<sup>4</sup> Best practice catalogue findes her: [http://www.iee-library.eu/images/all\\_ieelibrary\\_docs/ml67%20wwheat%20en.pdf](http://www.iee-library.eu/images/all_ieelibrary_docs/ml67%20wwheat%20en.pdf) mens Project development guidelines findes her [http://wastewaterheat.norconsult.no/downloads/D9\\_Norconsult\\_PDG\\_English.pdf](http://wastewaterheat.norconsult.no/downloads/D9_Norconsult_PDG_English.pdf),

Østrig, Norge og Sverige. Her er der beskrevet et antal projekter inden for to hovedtyper; varmepumpesystemer og varmevekslersystemer.

Frederikshavn Forsyning I Danmark har man forsøgt sig med varmeudvinding fra spildevand ved rensningsanlæg f.eks. i Frederikshavn i perioden 2009-2013. På trods af mange forsøg lykkedes det ikke rigtigt at få varmekilden til at fungere med en acceptabel driftssikkerhed, og varmepumpen blev siden taget ud af drift. Det var bl.a. problemer med biologiske belægninger i vekslerkredsen, et kompakt design og tilstoppede filtre med ål, snegle, blade, tang m.m. der var blandt årsagerne til, at systemet ikke kom til at fungere.

#### HOFOR

I 2014 indledtes et EUDP-projekt med det formål, at accelerere brugen af store eldrevne varmepumper i fjernvarmenettet i Region Hovedstaden. Her arbejdes der med to typer af varmepumper, hvor varmekilderne er hhv. geothermi-vand og spildevand/havvand. Projektet er endnu så lidt fremskredent, at der ikke har været nogen erfaringsopsamling endnu.

#### Genvinding direkte i bygningen

Der er også eksempler på førstnævnte - altså direkte genvinding fra bygningen. Her er fokus på badevand i svømmehaller og spildevand fra industrianlæg med konstant udledning af opvarmet spildevand eller store lejlighedskomplekser med mange beboere og et behov for varmt vand på mindst 100 kW for at det rent økonomisk og teknisk er muligt at udføre med den valgte sammensætning af teknologier.

#### HEI-TECH

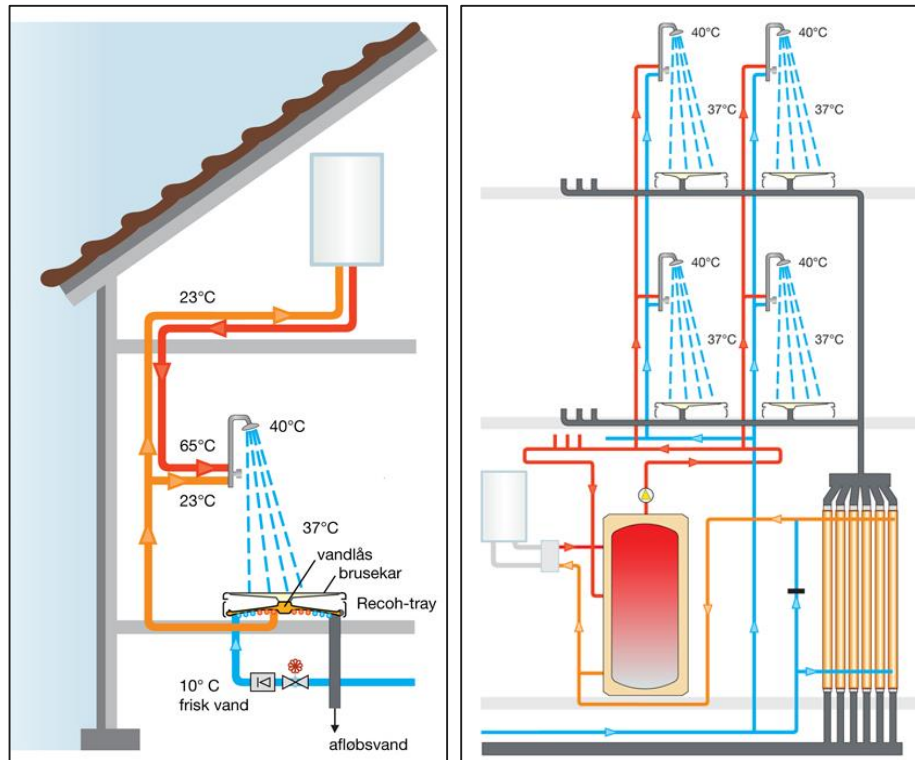
Det hollandske firma HEI-TECH (med dansk afdeling i Lyngby) har udviklet tre forskellige systemer til genvinding af varmen fra badevand. De tre forskellige systemer er udviklet til hhv. villaer (Recoh-tray), større villaer med høj kælder eller flere etager (Recoh-Vert) og Recoh-Multivert til badevand fra idrætsanlæg, svømmehaller, hoteller, etageejendomme, procesindustrien og andre erhvervsejendomme med stort varmtvandsforbrug.

Recoh-tray er en bakke, der installeres i bunden af brusenichen, se Figur 6.

Recoh-Multivert genvinder varme på den måde, at spildevandet løber gennem de lodrette, parallelt forbundne kobbervarmevekslere, der installeres i teknikrummet, inden det sendes ud i kloakken. Systemet kan ifølge leverandøren spare helt op til 61% af energien brugt til opvarmning af det varme brugsvand.

Der kan være risiko for tæring af kobber afhængig af spildevandets sammensætning.





Figur 6: Varmegenvinding fra badevand i hhv. enfamiliehus (tv.) eller etageejendom (th.) – HEI-TECH Energy Saving Systems, <http://www.hei-tech.dk/index-dk.html>.

Hansgrohe

Hansgrohe i Sverige arbejder på et varmegenvindingsanlæg, de kalder Pontos HeatCycle, som er en videreudvikling af et allerede eksisterende produkt "Pontos AquaCycle, der genanvender spildevand fra brusere og håndvaske til toiletskyl. Det nye system pumper det varme badevand gennem en varmeveksler, som opvarmer det kolde brugsvand, men teknikken er dog endnu på forskningsstadiet.

### 4.3.1 Konklusion på litteraturstudie

Der er foretaget et mindre litteraturstudie baseret på eksisterende arbejde i Schweiz, et fælles europæisk projekt støttet af Intelligent Energy Europe samt kendte projekter og systemer i Danmark.

Der er i projekterne udviklet metoder til genvinding af energien fra spildevand. Fælles for dem er, at der er tale om store enheder, der enten udnytter varmen i nærliggende kloakledninger eller centralanlæg i forbindelse med spildevandsrensningsanlæg. Som udgangspunkt anbefales det, at anlæg ikke laves til behov under 100 til 200 kW.

I nærværende projekt er det formålet at se på mindre anlæg, der direkte tilknyttes boligforeninger i anlæg på 10 lejligheder og opefter. Forskellen på det ansøgte projekt og det eksisterende arbejde, er udviklingen af den præfabrikerede veksler, og brønddesign og at sort spildevand ikke frasepareres, der samlet set vil gøre anlægget billigere at opføre og drive.

Yderligere er det fundet, at der skal tages højde for evt. påvirkning af rensningsanlæg som følge af afkøling af spildevandet om vinteren når det tilføres smeltevand,

idet rensningen ikke vil være så effektiv ved lavere temperaturer. Derudover skal der etableres sikkerhed for at undgå forurening af brugsvand.

## 4.4 Gældende lovgivning

### VA-godkendelse

En VA-godkendelse er en frivillig dansk ordning for vand- og afløbsprodukter, der bl.a. viser om produktet lever op til de danske krav i Bygningsreglementet samt tilhørende normer for vand- og afløbsinstallationer. Der kan ansøges om en VA-godkendelse via en ansøgningsblanket på ETA's (Europæisk Teknik Vurdering) hjemmeside<sup>5</sup>. Priser ligger fra 2.500 – 24.000 DKK afhængig af godkendelses varighed samt klasse.

### Gravetilladelse

Hvis samlebrønden ligger på offentlig fortov, vej eller sti, skal der ansøges om en gravetilladelse via virk.dk. Ansøgningen skal være vedlagt en beskrivelse af arbejdets karakter samt detaljeret kortbilag med entydig defineret af tracé og af arbejdets udbredelse. Det er vigtigt at tage hensyn til øvrige installationer i vej/fortov.

### Temperatur af spildevand

Der stilles af rensningsanlægget intet overordnet krav til hvilken temperatur spildevandet må have. Så længe dette kan løbe i kloakken er temperaturniveauet acceptabelt.

### Fedtudskillere

Fedt er et reelt problem, der skal tages hensyn til da dette aflejres i kloakken. Der installeres fedtudskillere steder, hvor fedtindholdet er ud over det sædvanlige (skoler, kantiner, restauranter, etc.). DS432 "Norm for afløbsinstallationer" angiver grænser for tilladt indhold af fedt og andet i spildevand. Boliger er som udgangspunkt undtaget, men kan i teorien tvinges til at installere en fedtudskiller, hvis normen for afløbsinstallationer ikke overholdes. Fedtudskilleren installeres (som udgangspunkt) udenfor og skal ifølge EU-lov tømmes hver måned. Dette overholdes dog ikke altid i praksis. Det er dog vigtigt, at fedtudskilleren tømmes jævnlige, da der ellers opstår lugtgener.

## 4.5 Decentral varmegenvinding set i den større sammenhæng

Begrænsninger; hverken Rørcenteret ved Teknologisk Institut, HOFOR eller Lynetten kan se nogle problemer i antallet af lejlighedskomplekser, der får et anlæg. Der er umiddelbart ingen regler eller krav der sætter begrænsninger for installationen af anlæg. Kapaciteten, som er tilgængelig ved rensningsanlægget, tillader i en stor del af året, at fremløbstemperaturen hertil sænkes. Dog vil en stor implementering af anlæg kræve, at det yderligere undersøges, hvor stor en indvirke dette vil have

---

<sup>5</sup> <http://www.etadanmark.dk/-/media/DS/Files/Downloads/ETA/VA/Ansøgningsblanket%20DK.PDF>

på fremløbstemperaturen til rensningsanlægget. Det vides ikke, om en afkøling af spildevandet fra lejlighedskomplekser vil øge aflejringen af f.eks. fedstoffer i kloakken med gener til følge. Dette vil endvidere kræve yderligere undersøgelser ved implementering af anlæg.

HOFOR blev konkret spurgt til:

*Vil en temperatursænkning, f.eks. på 10 grader ved spildevandsudløbet fra en boligforening rent teknisk give problemer for HOFOR i forhold til den videre håndtering? Dette mente HOFOR ikke ville være et problem.*

*Udgør fedtudskillelse i ledningsnettet et problem for HOFOR i forhold til driften? Dette blev beskrevet som et reelt problem, som afstedkommer ekstra manuelt oprensingsarbejde.*

#### 4.5.1 Temperaturen indflydelse på spildevandsrensning

Stofomsætningen i de biologiske processer, der er involveret i spildevandsrensningen er kritisk afhængig af temperaturen af spildevandet. Ses eksempelvis på Lynettens rensningsanlæg, så er indløbstemperaturen i vinterperioden typisk omkring 13-14°C, men svinger afhængig af årstiden til mellem 19-24°C om sommeren. De laveste temperaturer indtræffer typisk om vinteren ved afsmeltning af sne og is og involverer typisk også store mængder af smeltevand. Her når temperaturen ned på 8-9°C, men dette sker blot én til to dage om året. Lav indløbstemperatur for Lynettens vedkommende under 9-10°C er en udfordring, fordi opholdstiden af spildevandet forlænges på grund af den reducerede hastighed af de biologiske processer – Lynettens maksimale kapacitet er nået og anlæggets størrelse er kun lige akkurat stor nok til, at renseprocessen kan udføres til fulde. I ekstreme tilfælde, hvor temperaturen er lavere og der også er store mængder smeltevand, rækker kapaciteten ikke, og noget spildevand må ledes ubehandlet igennem.

Varmegenvinding centralt i kloaknettet eller direkte før indløb til rensningsanlægget vil for rensningsanlægget være kontraproduktivt i vinterhalvåret og ville i yderste konsekvens nødvendiggøre en kapacitetsforøgelse på rensningsanlægget. Hvad konsekvensen af decentral varmegenvinding af spildevand vil være for rensningsanlægget er på nuværende tidspunkt ikke kortlagt, men vil under alle omstændigheder være afhængigt af størrelsen og topologien af kloaknettet i oplandet til et givent rensningsanlæg. Således er betragtningerne nedenfor spekulative og bør undersøges fremover. For et rensningsanlæg med et opland med færre klienter og mindre tæthed per areal (f.eks. parcelhuskvarter vs. etagebebyggelse) må man forvente en lavere gennemsnitlig fremløbstemperatur for spildevandet. Således er middeltemperaturen på spildevandet ved indløb til rensningsanlægget i Frederikshavn 12°C i modsætning til de 13-14°C om vinteren for København. Under antagelse af, at den gennemsnitlige spildevandstemperatur er mellem 28-30°C ude ved husstanden er der, uanset oplandets karakter, et betragtelig varmetab i ledningsnettet.

Sænkes spildevandstemperaturen ved kilden, formindskes også varmetabet til omgivelserne, dvs. i første omgang jorden, hvorfra varmen udstråles opadtil. Den

foreløbige antagelse er, at der eksisterer en nedre temperatur  $T_n$ , som spildevandet ved husstanden kan sænkes til, uden at fremløbstemperaturen ved rensningsanlægget, og herved også de biologiske processer, påvirkes i betydelig grad.  $T_n$  er først og fremmest en funktion af, hvor stor en andel af det givne kloaknets husstande, der implementerer decentral varmegenvinding, dernæst af kloaknettets topologi samt jordbundsforholdene. Beregning af  $T_n$  er således ikke en trivielt opgave og rækker tydeligvis ud over dette studie.

Målinger viser dog at temperaturen af spildevandets temperatur påvirkes meget af jordens temperatur og konvergerer mod denne afhængig af rør længden som spildevandet passerer. Det vil også sige at man i det mindste i sommerhalvåret kan underafkøle spildevandet decentralt og stadig have den ønskede indløbstemperatur ved rensningsanlægget. Ved underkøling af spildevandet vil afløbsrør frem til rensningsanlægget fungere som varmeoptager så temperaturen an rensningsanlæg vil være tæt på jordtemperaturen selv om alt spildevand blev underkølet decentralt, f.eks. 5°C.

## 4.5.2 Fedtudskilning

Spildevand fra husholdninger må generelt betragtes som en heterogen blanding af væske og tørstof. Væskefasen er primært vandholdig, men for den fraktions vedkommende, som stammer fra køkkenafledning, vil der også forefindes en mere eller mere vandopløselig fedt/olie fraktion. I hvilken grad fedtfase opløses og/eller emulgeres med vandfasen afhænger af hvor meget sæbe, der er indeholdt i vandfasen og temperaturen på vandfasen. Generelt vil det være sådan, at udskillelse af både fedt og forsæbet fedt vil stige med faldende temperatur, samt at visse fedtfraktioner vil overgå til fast form.

Fedtudskillelse på de varmevekslende flader giver anledning til reduceret varmeoverførsel i veksleren beskrevet ved koefficienten:

$$R_f = d_f/k_f$$

Hvor  $d_f$  er en gennemsnitlig tykkelse af fedtlaget, der udskilles på vekslerfladen, og  $k_f$  er den specifikke termiske konduktivitet for fedtfasen.  $R_f$  kan betragtes som en termisk modstand, der er introduceret på varmevekslerfladen, som altså forøges med lagtykkelsen af fedtlaget og faldende termiske konduktivitet. Olier har typisk  $k_f$  i størrelsen 0,1 - 0,2 W/mK, mens rustfrit stål har typisk  $k_f$  i størrelsen af 16 - 24 W/mK.

I takt med at vandfasen afkøles i vekslersystemet, vil fedtudskillelsen forøges og varmevekslerens effektivitet falde. For et heterogent system som spildevand, formodes det, at dette problem forværres, da fedtet formodes at binde det i væskefasen opslæmmende tørstof, når fedtet udfældes på varmevekslerfladerne. Hermed opbygges gradvist en fast matrix på vekslerfladen bestående af fast stof bundet sammen af fedt, hvilket dermed forøger lagtykkelsen radikalt og dermed  $R_f$ . Er varmevekslerfladen ydermere struktureret med turbulatorer for at bryde det laminaire væskeflow, så ville fedtudskillelsen i nogen grad "udjævne" denne strukturering

og dermed nedbryde det turbulente flow. Overgangen til laminart flow afføder en yderligere effektivitetsforringelse.

Ovenstående beskrivelse tydeliggør, at det kan blive nødvendigt med en mekanisk fedtudskillelse i decentrale varmegenvindingssystemer, hvilket rejser spørgsmålet om, hvilke konsekvenser fedtudskillelsen har for kloaknet og rensningsanlægget. En mulighed er, at det frasepareres og bortskaffes med husholdningsaffaldet, hvilket dog i praksis er omkostningstungt. Alternativt designes systemer, hvor fedtet udstødes i kloakken via en selvrensende mekanisme, hvilket dog kunne give anledning til lokal tilstopning, lugtgener og forøget rottekoncentration.

*Tabel 1: Omtrentlige smeltepunkter for typiske olier, som finder anvendelse i husholdningen. Smeltepunktet for animalsk fedt udviser stor variation, men ligger generelt over stuetemperatur og under 180 °C. Værdier er et repræsentativt gennemsnit fundet på diverse gastronomiske hjemmesider.*

Fedt/Olie type	Smeltepunkt (°C)
Smør/Margarine	32-36
Olivenolie	-6
Animalsk fedt	40-180
Solsikkeolie	-17
Palmeolie	35
Kokosnøddeolie	25
Jordnøddeolie	3

**Fordele og ulemper ved bygningen:** I visse beboelsesområder med meget fedtholdigt spildvand kunne decideret fra-separering af fedt ved husstanden medføre besparelser i forhold til periodisk oprensning af ledningsnettet. Endvidere tyder meget på, at decentral fra-separering af fedt ville kunne reducere fødegrundlaget for rottebestanden og mindske dannelse af metan og svovlbrinte. Det skal understreges, at disse betragtninger er spekulative og bør undersøges nærmere.

**Fordele og ulemper ved rensningsanlægget:** Ved Lynetten ophobes ca. 50 ton slam pr. døgn og ca. 2-5 ton fedstof. Dette fedstof fanges i et fedtfang og føres sammen med slammet over i rådnetanke, hvor der produceres biogas til fjernvarme. Endvidere produceres der også fjernvarme ved afbrænding af slam. Der produceres årligt ca. 50 GWh fjernvarme ved Lynetten og al energien indeholdt i fedstoffet omsættes pt. ved Lynetten. Lynettens afdelingsleder for miljø og udvikling, Kim Rindel, udtalte, at det er svært at sige, om det vil være en fordel, hvis fedtstof-fet udskilles decentralt.

## 4.6 Forbrugsmønstre

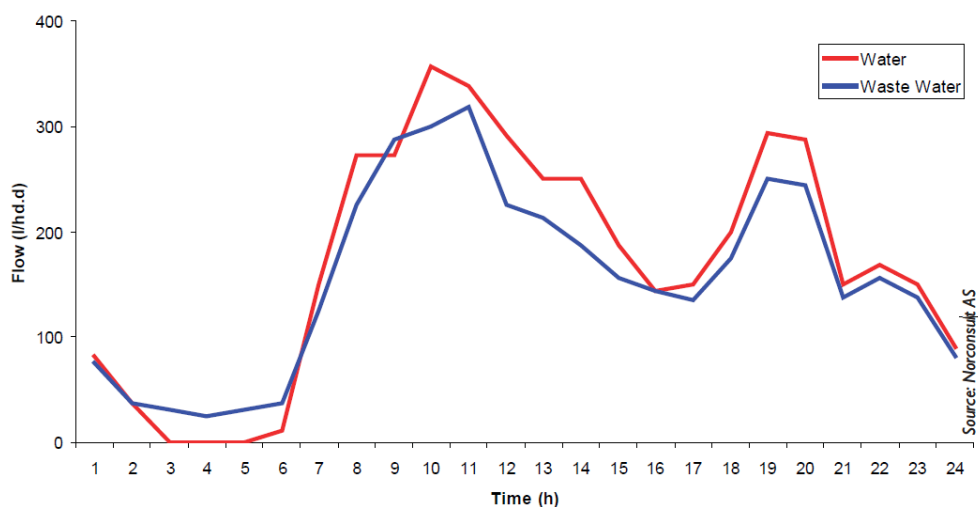
Døgnprofiler baseres på funden litteratur. Både idealiserede tappeprofiler fra eksempelvis standarder og faktiske målinger fra diverse kilder. Der skelnes så vidt muligt mellem forbrug af varmt og koldt vand.

Døgnprofiler findes for bedre at kunne estimere det energimæssige potentiale i en konkret boligblok. Endvidere vil døgnprofilerne give et input til dimensioneringen af de i projektet fundne komponenter og give et input til vurderingen af Smart Grid-potentialet.

### Waste Water Heat

Figur 7 viser resultatet af en måleserie hentet fra en rapport udarbejdet i et EU-støttet projekt af et konsortium bestående af partnere fra Tyskland, Norge, Sverige og Østrig<sup>6</sup>. Måleserien er lavet på baggrund af målinger fra 40 huse i Sverige. Figuren viser en tydelig sammenhæng imellem vandforbrug og spildevandsudledning.

Forbruget i Sverige antages at være sammenligneligt med forbruget i Danmark, og derfor antages det også, at der i Danmark er en tydelig sammenhæng imellem vandforbruget og spildevandet.



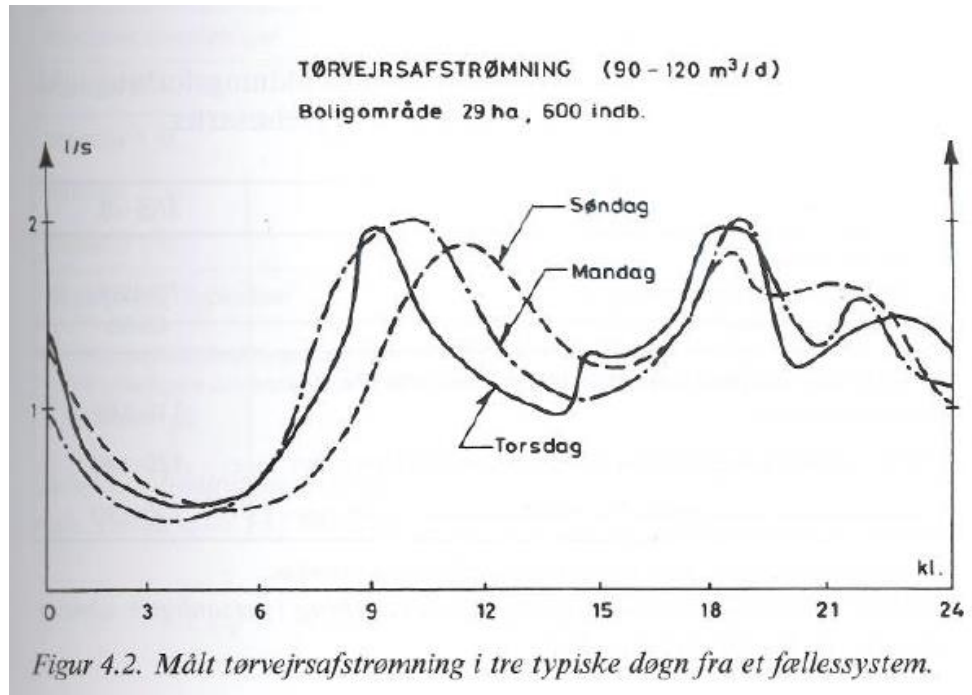
Figur 7: Typisk dagligt forbrugsmønster af vandforbrug og spildevandsudledning.

### Afløbsteknik

"Afløbsteknik"<sup>7</sup> er en bog, der behandler væsentlige aspekter ved afløbsvand samt ved planlægning, projektering, drift og vedligehold af afløbssystemer. Denne bog indeholder også en profil for afløbsvandet fra en boligblok bestående af 600 beboere. Denne profil er vist i Figur 8.

<sup>6</sup> "Project Development Guideline", EU-projekt: "Waste Water Heat", 2006-2007. Af Norconsult, Grazer ENERGIE Agentur, Berliner Energieagentur, Energikontor Sydost.

<sup>7</sup> "Afløbsteknik – 6. udgave", Leif Winther, lærebog, Polyteknisk Forlag, 2011



Figur 8: Tørvandsafstrømningsprofil fra boligområde med 600 beboere.

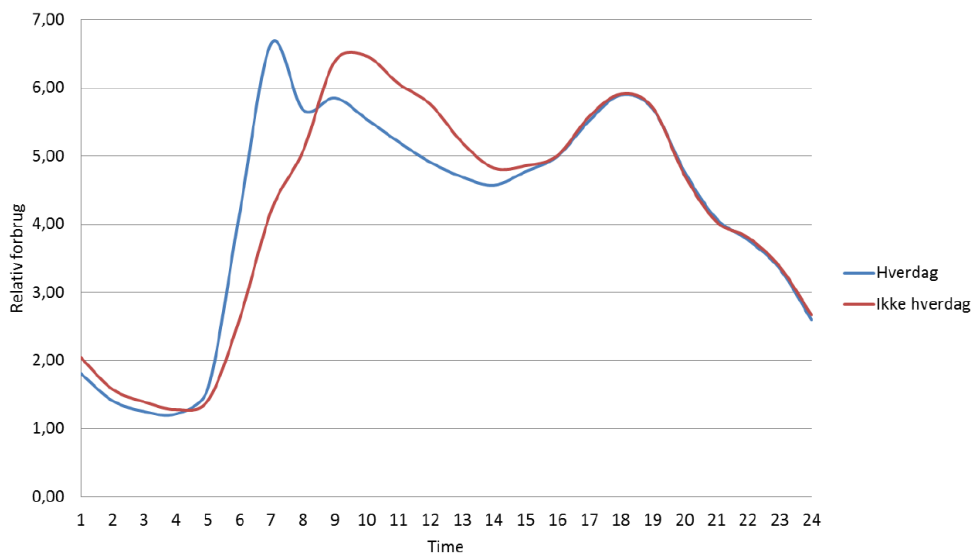
I Afløbsteknik nævnes specifikt, at vandforbruget og derfor også spildevandsstrømmen varierer betydeligt fra døgn til døgn og igennem døgnet. Ved dimensionering er det derfor ikke kun vigtigt at kende sin maksimale strøm, men også den minimale strøm.

Profilen fra Afløbsteknik er et produkt af både koldt- og varmtvandsforbruget og er derfor sammenlignelig med grafen på Figur 7. Trods dag til dag variationen på Figur 8, er der stor sammenhæng imellem de to målinger foretaget i henholdsvis Sverige og Danmark. Dette underbygger altså tesen om, at spildevandsafledningen i Sverige og Danmark kan antages at være ens og, at et specifikt mønster må være at forvente fra en given boligblok af en vis mængde beboere.

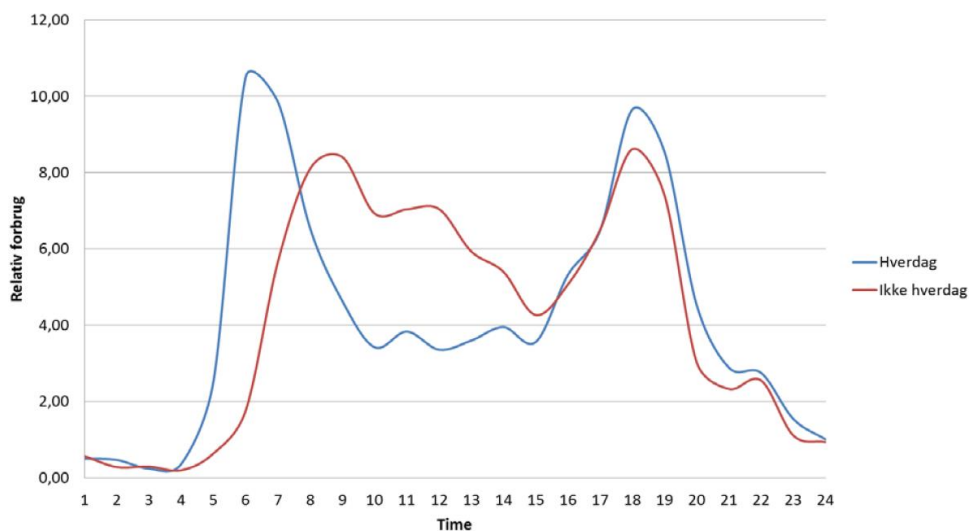
Aalborg Universitet

I en dansk rapport udarbejdet af forskere fra Ålborg Universitet, undersøges både koldt- og varmtvandsprofiler på grundlag af forskellige kilder. I Figur 9 viser det relative koldvandsforbrug målt på Agtrup Sønder Bjert Vandværk. Målingerne er baseret på data fra januar, juni og august 2007<sup>8</sup>. Koldtvandsprofilerne kan sammenlignes med varmtvandsprofilerne på Figur 10.

<sup>8</sup> Jensen, R. L., Nørgaard, J., Daniels, O., & Justesen, R. O. (2011). "Person- og forbrugsprofiler: bygningsintegreret energiforsyning." Aalborg: Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg. (DCE Technical Reports; Nr. 69).



Figur 9: Forbrugsprofiler på hverdage og ikke-hverdage for koldt vand. .



Figur 10: Forbrugsprofiler på hverdage og ikke-hverdage for varmt vand. .

Varmtvandsforbrugsprofilerne på Figur 10 er genereret ud fra måledata fra 7 forskellige huse og er sammenlignet med danske og europæiske standarder, der angiver profiler for varmt vand.

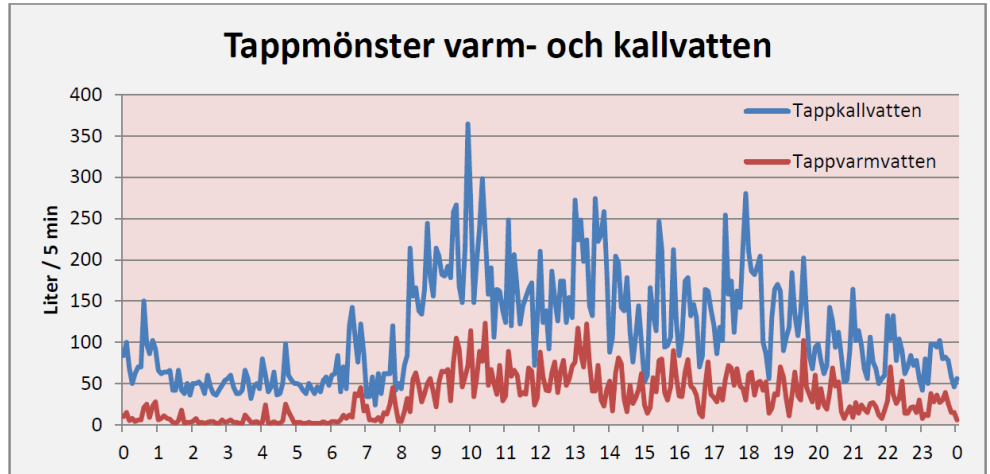
Det ses, at profilerne er ikke præcis ens. Dette giver også god mening, da der er forskel på hvad det kolde- og varme vand bruges til. F.eks. er spidsbelastningerne i forbindelse med det varme brugsvand højere, hvor forbruget af koldt vand er jævner.

Sæsonvariationen for koldt- og varmtvandsforbruget er ikke taget med da variationen er meget mindre. Nogen variation er dog at forvente pga. f.eks. større varmeafgivelse fra rør, øget komfort i form af varme bade i vinterperioden, osv.



Svensk studie

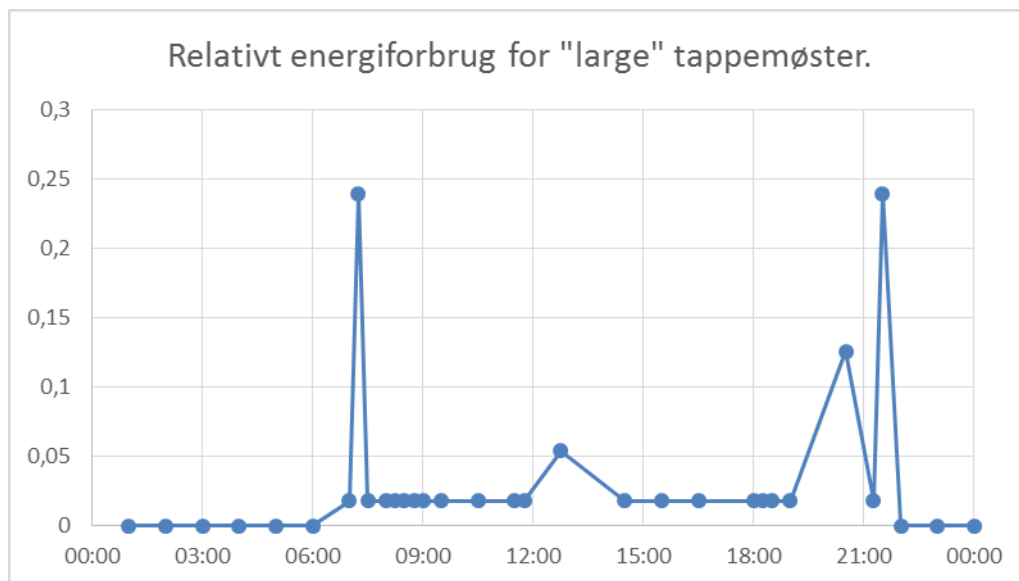
Figur 11 nedenfor viser en typisk forbrugsprofil for koldt og varmt brugsvand på et døgn målt i en etageblok med 110 lejligheder.<sup>9</sup> Her ses, at varmtvandsforbruget er mere jævnt fordelt over dagen, og at profilen for det varme vand følger profilen for det kolde vand. Spidsbelastningen både morgen og aften kan dog stadig anes.



Figur 11: Typisk forbrugsprofil for koldt og varmt vand i et flerfamiliehus på et døgn.

Standarden DS/EN16147:2011 "Varmepumper med eldrevne kompressorer – Prøvning og krav til mærkning af apparater til varmt brugsvand" angiver tappeprofiler i størrelserne small, medium, large, X-large og XX-large. Large tappeprofilen svarer til et dagsforbrug på ca. 120 liter, hvilket svarer ca. til en gennemsnitsfamilie på 2,7 beboere med et dagsforbrug af varmt brugsvand på ca. 40-50 liter pr. person. Tappeprofilen er et resultat af et europæisk standardiseringsarbejde og viser et repræsentativt tappemønster for et gennemsnitligt europæisk "large" forbrug. Derfor kan det ikke forventes, at denne tappeprofil vil være lig varmtvandsforbruget vist i Figur 10, men det må dog forventes, at samme tendens ses. Tappemønstret for large-forbruget er vist i Figur 12.

<sup>9</sup> "Värmeåtervinning ur spillvatten i befintliga flerbostadshus", Anders Nykvist, 2012



Figur 12: *Relativt energiforbrug for "large" tappemøster fra standarden DS/EN16147:2011. Repræsentativt for en gennemsnitlig dansk familie.*

Det ses, at tappeprofilen har et "peak" om morgenen og "peak"en over middag er også at spore i hverdags-varmtvandsforbrugsprofilen på Figur 10. Dog er aftenens "peak"s forskudt i tappeprofilen sammenholdt med erfaringerne vist i Figur 10. Dette kan være grundet et andet dagsmønster i det sydlige Europa, som også har spillet ind under udarbejdelsen af standarden.

## 5 Potentialebestemmelse

### 5.1 Energi

#### 5.1.1 Spildevandsenergi

Udnyttes udelukkende varmegenvinding og veksleren er placeret i kælder tæt på kilden, vil det typisk være muligt, at hæve brugsvandtemperaturen på tilgangen til varmtvandsbeholderen med 10°C, hvilket vil kunne dække omkring 22% af varmebehovet til varmt brugsvand (ekskl. tab). Genvindingsgraden er begrænset af temperaturniveauerne, mens energiindholdet i spildevandet pga. at spildevandsflowet er ca. 2,5 gange varmtvandsforbruget dvs. at spildevandet herved afkøles ca. 4°C.

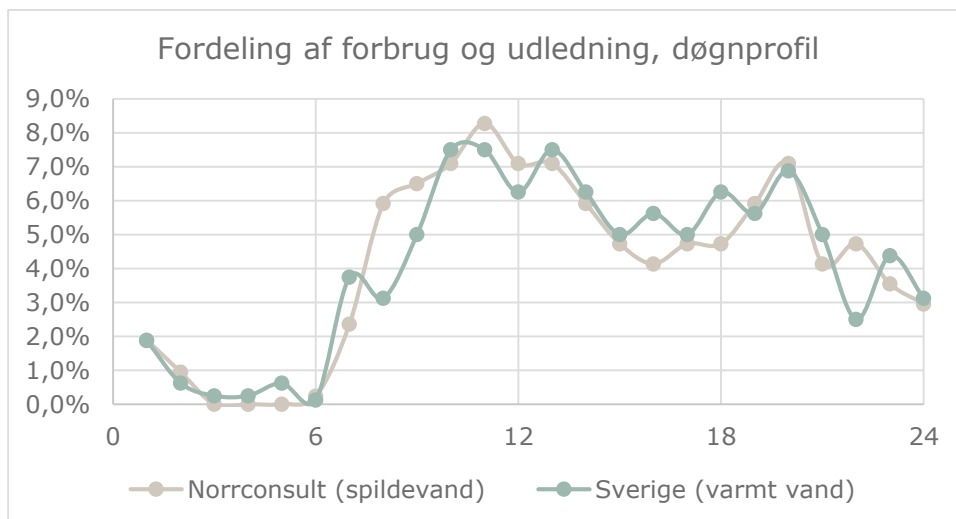
For at kunne nyttiggøre energiindholdet yderligere kræves en varmepumpe som kan køle spildevandet til f.eks. 6°C og nyttiggøre energien ved 55°C. Energiindholdet ved 12°C køling af alt spildevand f.eks. fra 20 °C til 8 °C kan give 30 °C opvarmning af det varme brugsvand dvs. 67% af behovet og hvis varmepumpens COP er 4 vil energiindholdet sammen med den til varmepumpen tilførte energi kunne dække  $(22\% + 67\% / 3 \times 4) = 111\%$  af varmen til brugsvandsopvarmning ekskl. cirkulationstab. Cirkulationstab skal selvsagt minimeres og kan hvis det overstiger de 11% dækkes med supplerende varmetilførsel f.eks. fjernvarme i vinterhalvåret.

Elforbruget til ovenstående udgør ca. 17% af varmebehovet til produktion af varmt brugsvand.

På figuren vises hhv. forbrugsmønster for varmt vand via en svensk undersøgelse fra Energimyndigheten på 44 lejligheder<sup>10</sup> samt udledning af spildevandet fundet i den tidligere nævnte rapporten fra "Waste Water Heat"-projektet.

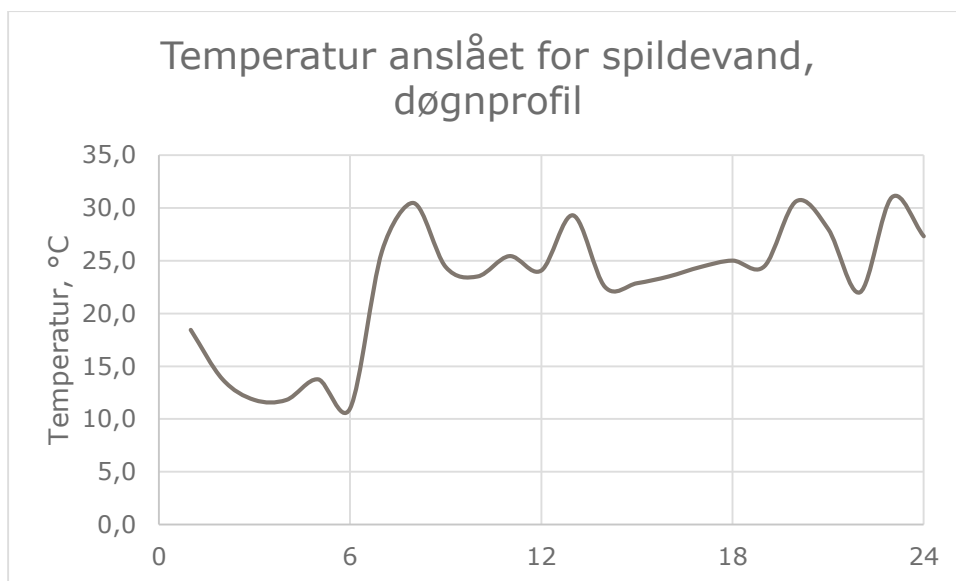
---

<sup>10</sup> "Mätning av kall- och varmvattenanvändning i 44 hushåll", Delrapport i Energimyndighetens projekt "Förbättrad energistatistik i bebyggelsen och industrin", ER2009:26



Figur 13: Fordeling af forbrug og udledning.

Baseret på dette er der beregnet en forventet udledningstemperatur på spildevandet, som vises i Figur 14.



Figur 14: Anslået døgn temperaturprofil tæt ved kilden for spildevandsmålingerne fra Figur 13.

HOFOR blev i projektet spurgt ind til om de havde temperaturlogning på spildevandet på f.eks. pumpestationer. Disse data ville kunne benyttes til at validere eller tilpasse ovenstående temperaturkurve. Projektets kontaktperson ved HOFOR mente dog ikke, at dette var tilfældet, men kunne ikke definitivt udelukke dette.

### 5.1.2 Samlet potentiale - økonomiscenarie

Ses herefter på en opgang med f.eks. 10 lejligheder og totalt 30 beboere, vil der være et totalt behov for varmt vand på 503 m<sup>3</sup>/år, svarende til et opvarmningsbehov på 26.000 kWh/år. Der ses her bort fra cirkulationstab. Er opgangen opvarmet med naturgas med en pris på ca. 0,70 kr./kWh ekskl. moms, er der altså en omkostning på omkring kr. 18.000 pr. år ekskl. moms, med de nuværende energipri-

ser og en virkningsgrad på 100%. Elafgiften til varmepumper er belagt med 0,42 kr./kWh ekskl. moms mindre afgift end normal eltarif. El til varmepumpen er således 1,35 kr./kWh ekskl. moms med de nuværende priser. Inklusiv driften af varmepumpe vil omkostningen til varmt vand være på ca. kr. 6.000 til kr. 10.000 afhængig af opnåelig COP og evt. direkte varmegenvinding - eller en årlig besparelse på ca. kr. 8.000 - 12.000 ekskl. moms. Hvis der accepteres en tilbagebetalingsperiode på måske 15 år, vil der være et investeringspotentiale på omkring kr. 120.000-180.000 ekskl. moms. til etableringen. Samtidig vil der være flere om at dele omkostningerne til installationen. Slås flere opgange sammen, vil potentialet selvfølgelig blive tilsvarende større.

Benyttes olie som opvarmningsform til en pris på 0.95 kr./kWh ekskl. moms, bliver investeringspotentialet 55-80% større (evt. bedre afhængig af oliefyrets virkningsgrad)

*Den samfundsøkonomiske pris for gas inkl. 20% afgifter og 17% NAF i 2015 er ca. 0,41 kr./kWh mens den samfundsøkonomiske elpris inkl. 20% afgifter er ca. 0,56 kr. / kWh. Det samfundsøkonomiske overskud for varmepumpe kontra gas er i samme størrelsesorden som ved en privatøkonomisk betragtning, dvs. at det også samfundsøkonomisk er rentabelt.*

## 5.2 Målinger på pilotanlæg i Skovgårdsparken

Der blev i 2014 etableret et pilotanlæg ved Skovgårdsparken i Brabrand, som repræsenterer en typisk ejendom som dem, hvor anlægget tænkes anvendt. Ejendommen er på 32 lejligheder. Ud over lejlighederne, er der til spildevandsbrønden tilknyttet et vaskeri.

Anlægget består i hovedtræk af en varmepumpe koblet sammen med en spildevandsbrønd og en jordvarmekreds, der ligeledes er koblet sammen med solfangerne. Det er i dag muligt at lagre solvarme i jorden, når der ikke er direkte brug for denne.

I projektet var det planlagt at foretage målinger på anlægget i Skovgårdsparken. Det blev derfor undersøgt, hvorledes følgende faktorer nemmest kunne måles:

- › Forbrugsmønster af varmt og koldt vand
- › Afløbsmængder
- › Energioptag
- › Temperatur i udløbet

Ved hjælp af disse målinger ville energibalancer og potentialet for systemet blive undersøgt. Ved at sammenholde forbrugsmønstret med tilgængeligheden af energi i spildevandet ville det ligeledes være muligt at undersøge, hvornår den tilgængelige energi i spildevandet ikke er tilstrækkelig, og hvornår forbrug og tilgængelig energi med økonomisk fordel kan afkobles (Smart Grid).

Dog viste der sig at være uforudsete driftsproblemer med det installerede anlæg i Skovgårdsparken, og det blev i projektets løbetid ikke muligt at opsamle målinger herfra.

### 5.3 Målinger ved AB-Manøgade-Vejrøgade.

Da det i projektet blev klart, at målinger ikke ville blive opsamlet ved Skovgårdsparken, blev et måleprogram i stedet igangsat ved andelsboligforeningen Manøgade-Vejrøgade.

Der blev her installeret en probe i en spildevandsbrønd ved en etageejendom på Manøgade-Vejrøgade. På Figur 15 angiver den røde plet på billedet til højre brønden på fortovet, hvor målesonden blev nedsænket. Den åbne brønd med sonden på plads (hængende i en stålwire) er vist på billedet til venstre.

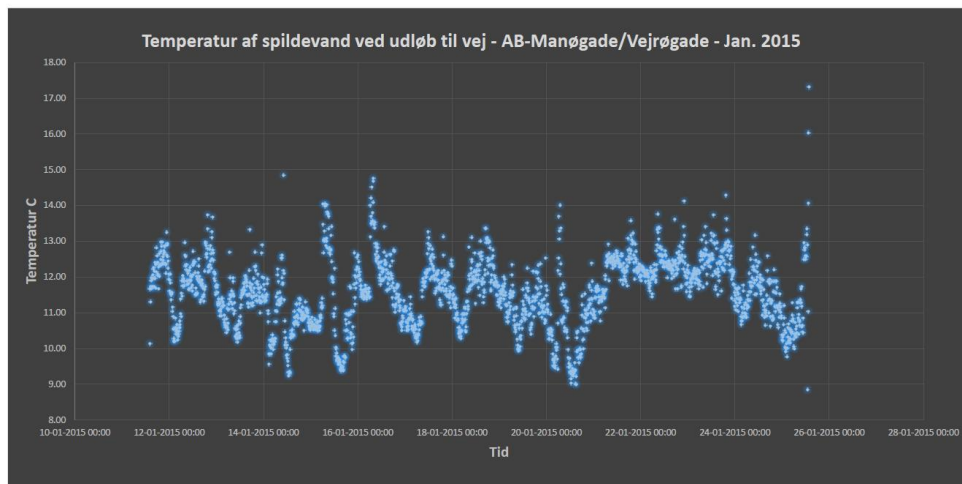


Figur 15: Venstre: Probens position i spildevandsbrønde. Højre: Spildevandsbrøndens position i forhold til karreren.

**Brønden:** Brønden er placeret ca. 1 m. fra facaden. Hele foreningens spildevand afledes (samt regnvand fra både gård og gade – se tilstødende rør) gennem en hovedledning, som løber under bygningen (vist med grøn streg på billedet til højre).

**Sonden:** Sonden er nedhængt i brønden, så sonden ikke ligger nede i afløbsrenden, hvilket rent målmæssigt ville være det mest optimale. Derimod hænger den på kanten af renden, så den ikke giver anledning til blokering. De målte temperaturer angiver derfor nok mere rendens temperatur og måske fra tid til anden temperaturen ved "større skyl", hvis dette ellers i tid falder sammen med et målepunkt.

Sonden lokkede temperaturen hvert 10. minut og resultatet heraf kan ses i på Figur 16.



Figur 16: *Temperaturlogging i spildevandsbrønd ved andelsboligforeningen Manøgade-Vejrøgade.*

Selvom de loggede temperaturer formentlig er randens temperatur og ofte ikke vandets temperatur giver måleserien giver stadig mening, idet et dagsmønster ses. Det formodes dog, at vandtemperaturen er højere, men sonden har bare ikke været nedsænket i den oftest ubetydelige væskestrøm.

I Figur 17 er vist udpluk af dataet vist på Figur 16 for mandag d. 12 januar, tirsdag d. 13 januar og søndag d. 18 januar 2015.



Figur 17: Temperaturprofil for d. 12, 13 og 18 jan. 2015 ved andelsboligforeningen Manøgade-Vejrøgade.

Det ses, at temperaturen generelt er lavere end forventet ud fra Figur 14. Dette var dog også forventet ud fra sondens position. Tendensen der dog kan ses er, at temperaturen stiger til en spidsværdi om morgenen, holder et nogenlunde niveau i løbet af dagen og har stiger til endnu en spidsværdi omkring aftensmads/sengetid. Endvidere ses det også, at morgenspidsen spores senere på dagen om søndagen, men at der ikke er nogen synderlige spidsværdier om aftenen.

Det antages ud fra målingerne, at den forventede tendens er tilfældet, men at temperaturen er højere og stigende jo kortere spildevandet løber i spildevandsledninger i jord, hvor omgivelserne er kolde især om vinteren.



## 5.4 Marked

Bygninger er en af de største energiforbrugere i samfundet, idet mellem 30-40% procent af Danmarks samlede energiforbrug anvendes til opvarmning, ventilation og lys. I alt bruges ca. 160 PJ til opvarmning af bygninger og dette energiforbrug er særligt vigtigt i forhold til den 6% CO<sub>2</sub> reduktion som findes for at nå regeringens samlede målsætning. Ca. 20% af bygningsmassen og 21% af energiforbruget hidrører etage- og institutionsbygninger, hvor konceptet er særligt anvendeligt.

Hvis det antages at ca. 20% af energiforbruget stammer fra brugsvandsopvarmning vil der være i størrelsesordenen 6 PJ at spare i samtlige bygninger. Hvis der regnes med at ca. 30% af etageboliger umiddelbart vil kunne installere varmegenvindingssystemet, vil der alene i Danmark kunne installeres ca. 30.000 anlæg. Markedet er således meget interessant og retfærdiggør at der udvikles præfabrikerede løsninger. Samtidigt er potentialet på EU niveau enormt, idet etagebyggeri er udbredt i alle lande og en relativ stor del af disse bygninger er uden fjernvarmeforsyning.

I projektet blev HOFOR spurgt ind til ejerforhold mht. udnyttelse af spildvarmen i spildevandet. Kontaktpersonen ved HOFOR vurderede her, at så længe spildevandet var inde på privat grund, måtte det stå kunden frit for at udvinde varmen til eget brug. Der ses altså ingen problemer i at genvinde varmen.

Hvis spildevandsbrønden er placeret uden for privat grund, kan der være problemer omkring ejerskab af en konkret spildevandsbrønd, det evt. omkringliggende fortov eller andet, der kan give problemer. Det vil derfor være nødvendigt at opsamle erfaringer fra de første installationer uden for privat grund omkring mulige konstellationer vedrørende ejerforhold i forhold til varmen og hvorledes disse tilgås.

## 6 Systemdesign

I dette kapitel beskrives de overordnede designs, som tænkes realiserbare. Beskrivelsen er rent teknisk og der vil først i kapitel 9 blive foretaget en vurdering af de enkelte systemopbygninger samt angivelse af dimensionering af anlægget. I det efterfølgende kapitel 7 beskrives de hovedkomponenter, der angives i dette kapitel.

Fokus er i dette kapitel lagt på at vise forskellige mulige systemdesigns. Anlægsdesignet kan spænde fra et helt simpelt system, hvor varmegenvindingen er en ren varmeveksling af spildevandet til et avanceret system med varmepumpe og buffer-tank.

Da fokus i projektet er på energirenovering af eksisterende byggeri, er en af de vigtigste overvejelser, at det skal være simpelt at installere, kun kræve lidt plads, kunne installeres i en allerede eksisterende brønd og generelt kun medføre begrænset indgriben i den eksisterende varmeforsyning.

### 6.1 Funktioner

Der er en række funktioner, som ønskes indbygget i et anlæg til spildevandsgenvindingen. Disse har betydning for de systemer, der skal opbygges:

- › Smart-Grid mulighed (varmelagring)
- › Kun varmt vand eller rumopvarmning eller en kombination heraf.
- › "Simpelt" eller "avanceret" anlæg (direkte varmegenvinding tilsluttet varmepumpe)
- › Tilslutning til andre VE-teknologier f.eks. solvarme
- › Separation af spildevandet (er det muligt i byggeriet)

Der er altså som udgangspunkt tre forskellige systemopbygninger, der medtages i denne rapport.

- 1 **Det simple anlæg** er opbygget omkring direkte varmegenvinding, hvor brugsvandet forvarmes med spildevandet. I den simpleste version via en forvarmning af brugsvand, hvor der installeres en varmegenvinding på rørføringen – enten lodret eller vandret. Denne kan udvides ved genvinding hvor varmegenvindingen foregår i en brønd og opvarmningen foregår i en varmtvandsbeholder.
- 2 **Det komplicerede anlæg**, der benytter en varmepumpe til at hæve temperaturen af det varme brugsvand. Her er det nødvendigt med en brønd og en varmtvandsbeholder.
- 3 Den mest **avancerede løsning**, der igen benytter en varmepumpe til at hæve temperaturen, men foruden at producere varmt brugsvand, producerer det også rumvarme.

### 6.1.1 Begrænsninger ved reovering

Der er en altoverskyggende begrænsning ved reovering, som altid skal med i overvejelserne; nemlig plads til at installere nødvendigt udstyr og ønsket om så lille ændring af det eksisterende anlæg som muligt. Der er derfor to specifikke krav, der medtages i et hvilket som helst projekt, hvor spildevandsgenvinding ønskes installeret:

- › Plads
- › Minimalt indgreb på eksisterende installation

## 6.2 Anlæg med direkte varmegenvinding (1)

Ulemper er hovedsageligt legionella-problematikken. Det er ikke optimalt at have drikkevand stående eller cirkulerende i vekslerstrenge; men ved en maksimale temperatur på 25°C er risikoen lille. Endvidere kan systemet udføres uden cirkulation dvs. med ét gennemløb. Drikkevand bør ikke bruges som det varmevekslende medium med mindre tilstrækkeligt og kontinuert flow er sikret. Endvidere er der fare for krydskontaminering fra spildevand til drikkevand, når trykket tages af drikkevandet i forbindelse med reparation ligesom utætheder kan føre til stort vandtab. Endelig er virkningsgraden mindre ved denne type varmeveksling.

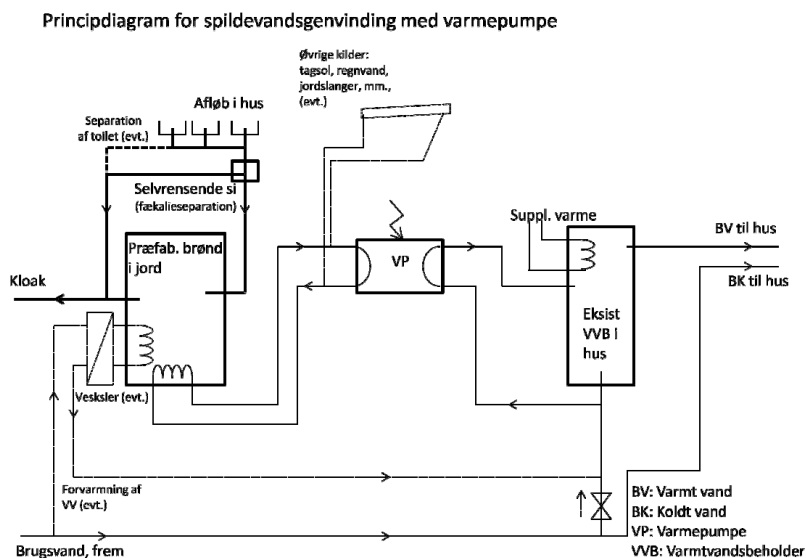
Den åbenbare fordel ved denne ved denne løsning er den simple tilgang med tilhørende besparelse i forhold til anskaffelse af en varmepumpe.

## 6.3 Anlæg med varmepumpe til opvarmning af varmt brugsvand (2)

Fordelen ved at anvende en varmepumpe er den sikkerhedsbarriere, som kølemiddelskredsen vil udgøre i forhold til spildevandet. Endvidere er udnyttelsesgraden betydelig højere for en varmepumpe da varmen kan nyttiggøres på tilstrækkelig højt temperaturniveau. Varmepumpeløsningen byder på sigt også på den mu-

lighed at kunne køre baglæns og dermed opvarme vandet i brønden med henblik på en "rensesekvens".

På nedenstående figur vises som input et muligt principdiagram for genvinding af spildevand, hvor der tages udgangspunkt i, at anlægget udnytter en varmepumpe.



Figur 18: Eksempel på principdiagram for løsning til genvinding af spildevand

## 6.4 Anlæg med varmepumpe til opvarmning af både varmt brugsvand og rumvarme. (3)

HOFOR har i deres pumpestationer på Sjællandsbroen og i Ingerslevsgade implementeret varmegenvindingsanlæg, hvor varmegenvinding af henholdsvis rensed og urensed spildevand leverer både rum- og varmtvandsopvarmning via en varmepumpe til en større bebyggelse (anlæggene har kostet ca. 1 mio. kr. hver og tilbagebetalingstiden er henholdsvis 12,5 og 32 år).

Referencer:

<http://www.energibesparelser-vand.dk/Default.aspx?ID=2252&TokenExist=no>

<http://www.dkrt.dk/wp-content/uploads/ingerslevsgade.pdf>

Ifølge HOFOR har disse anlæg kørt upåklageligt siden deres etablering.

<http://www.e-pages.dk/mmf/202/19>

<http://www.dkrt.dk/therm-liner/>

## 7 Design af komponenter

I dette afsnit vil det overordnede design blive beskrevet. Som udgangspunkt er der nogle hovedkomponenter i anlægget, som skal designes enkeltvis:

- › Præfabrikeret brønd med indbygget varmeveksler (én til direkte veksling øverst i brønden og én under til varmepumpen)
- › Maceratorpumpe (f.eks. SEG 40 fra Grundfos eller en Staring DSK 10)
- › Varmepumpe optimeret til udnyttelse af de foreliggende temperaturer og behov
- › Varmtvandsbeholder opvarmet af varmepumpe samt øvrig opvarmning (ej vist)
- › Derudover er der nødvendige rørføringer, ventiler og evt. varmevekslere.

I projektet skal det sikres, at de enkelte elementer optimeres, så de størrelsesmæssigt passer sammen med hinanden. Dvs. at f.eks. brønden dimensioneres til den faktiske spildevandsproduktion og at størrelse af varmepumpe og varmtvandsbeholder passer hertil. Det forventes, at der i projektets fase 2 vil blive udarbejdet en dimensioneringsguide.

### 7.1 Præfabrikeret brønd

Formålet med den præfabrikerede brønd er at opsamle spildevandet, så det kan genvindes både direkte til forvarmning af varmt brugsvand og via en varmepumpe. Det er centralt, at brønden skal være opbygget, så den har de samme gode egenskaber som en standardbrønd fra f.eks. Grundfos uden varmegenvinding. Dette gælder ikke kun i forhold til en ukompliceret installation, men også evnen til selvrensning. Brønden udføres med overløb til eksisterende kloak som benyttes i tilfælde af pumpestop.

Til forvarmning af brugsvand er det muligvis nødvendigt med et sekundært kredsløb for at sikre, at frisk brugsvand ikke cirkuleres gennem brønden og kommer "for tæt" på spildevandet.

Dimensioneringen af brønden bestemmes af at skal kunne rumme et volumen så der er minimum 10 minutter mellem pumpestarter, og at komponenterne kan være der. Endvidere skal pumpe og veksler kunne løftes op af brønden.

Der er flere elementer, der bør undersøges i projektets fase 2:

- › Skal der foretages en isolering af brønden?
- › For at kunne udnytte, at det er præfabrikerede brønde i faste størrelser, hvordan vil man kunne koble brøndene?
- › Er muligt, at der udvikles en brønd til placering af varmepumpen, hvis der ikke er plads inde i bygningen?

## 7.2 Varmeveksler

Varmeveksleren i brønden vil formentlig skulle overdimensioneres, da den ganske hurtigt vil få biologiske belægninger (biofilm) fra spildevandet. Alternativt skal der etableres en ganske effektiv (selv)rensning. Der er flere designs med i overvejelserne, heraf kan nævnes:

- › Plastikslanger
- › Metalveksler
- › Brøndvægge, kappe eller spiral

Materialevalget af selve vekslerfladerne udgør et kompromis mellem kemisk bestandighed, varmeledningsevne, fabrikationsegnethed og pris. Vores klare vurdering er, at plastoverflader har så lav en varmetransmissionskoefficient, at det nødvendige areal bliver uforholdsmæssigt stort og dermed ikke tillader et kompakt design som ønsket. Det eneste anvendelige metal til spildevand vil være rustfast stål i mindst en 304 kvalitet. Dette sikrer tilstrækkelig kemisk modstandsdygtighed over tid, men udgør dog et kompromis i forhold til varmetransmissionsegenskaber, hvor f.eks. kobber har en varmeledningsevne på mellem 300-400 W/mK i modsætning til 15-25 W/mK for rustfast stål.

For at imødegå, at den effektive varmeledningsevne af varmevekslerfladen ikke falder helt ned til 0,1 W/mK pga. belægninger (100 W/m<sup>2</sup>K ved 1 mm belægning), så er forskellige rensningsstrategier til fjernelse af afleveret fedt gennemgået i kapitel "4.5.2 Fedtudskilning". I princippet kunne forskellige mekaniske rensemetoder, som typisk anvendes i fødevarer-procesindustrien adapteres til formålet. Problemet er imidlertid, at i modsætning til industrielle processer, hvor mediet er meget veldefineret, er spildevand en ukendt fase, hvor papir, fibre og tekstilrester ville kunne blokere næsten enhver mekanisk anordning.

Fedtafrensning af veksleroverfladerne bør derfor ske via ikke-mekaniske processer, herunder specielt kombinationen af spuling med vand og kemisk/fysisk modificerede overflader. I forhold til sidstnævnte, så findes der i dag metoder til at over-

fladebehandle metaloverflader (coating) med en molekylær film i nanotykkelse, som giver en lipofob (fedtafvisende) overflade. Disse metoder er imidlertid kun anvendt i langt mindre størrelsesforhold og for systemer, hvis fedtpåvirkning er mere delfineret end den situation, som spildevand giver anledning til.

Det er principielt og givetvis også praktisk muligt at opskalere disse coating processer til et niveau, hvor indersiden af et Ø500-600 mm stålrør kan behandles. Det skal dog først i praksis efterprøves i lille skala, at de relevante coatings er kemisk/fysisk stabile og dermed bevarer deres fedtafvisende egenskaber under langtidspåvirkning af spildevand.

Det skal bemærkes, at omtalte coating processer i denne sammenhæng ikke kan erstattes af en af en proces hvor polymerfilm (plastik) påføres veksleroverfladen, da en sådan film typisk er flere hundrede mikrometer tyk og kan være helt op til 1 mm tyk. Den termiske transmissionskoefficient for varmevekslerlegemet vil således sænkes til en værdi bestemt af plastikfilmen.

### 7.3 Maceratorpumpe vs. standardpumpe

Det ønskes, at der foretages så få ændringer i bygningen som muligt, ved installation af teknologien. Dermed vil det ofte ikke være muligt at foretage en separation af det sorte spildevand (fra toiletter). Det er derfor nødvendigt at tage højde for det faste materiale i spildevandet, der skal håndteres, så det ikke over tid vil ødelægge varmeoverføringen mellem spildevand og sekundært vand i brønden. Dette vil en maceratorpumpe i bunden af pumpebrønden finde, således at det kan fjernes fra brøndens bund. Samtidig sikrer maceratorpumpen, at brønden kan være selvrensende eller kun kræve minimal vedligehold. Ved udpumpning benyttes spildevand til spule veksleren hvorved der sker en selvrensning. Pumpen placeres lidt hævet så den holdes fri for faste genstande som måtte bundfæles i brønden.

### 7.4 Varmepumpe og varmtvandsbeholder

Det forventes, at der kan anvendes standardkomponenter, evt. med en lille modifikation. Varmepumpen har sin egen eksterne brugsvandsveksler /beholder.

For varmtvandsbeholderen kan det være nødvendigt at have to forsyninger, både fra den oprindelige opvarmingskilde og fra varmpumpen. Dette er et system der er velkendt fra solfangere. For eksisterende beholdere kan det varme vand fra varmpumpen evt. tilføres sammen med cirkulationsledningen.

## 8 Udvikling af styringsstrategi

### 8.1 Styringsstrategi med fjernelse af urenheder.

En mulig styringsstrategi for designet hvor der løbende fjernes urenheder kan være følgende:

- › Dagsdrift: Brønden er næsten fyldt og spildevandsstanden dækker veksler blot. Herved udnyttes veksler arealet bedst muligt og denne veksling kan evt. udnyttes i forbindelse med Smart Grid tiltag. Pumpen kører mellem to niveauer tæt på fuld brønd. Varmepumpen startes, når temperaturen i varmtvandsbeholderens øvre del falder under et vist niveau.
- › Kl. 22.00: Pumpen stoppes. Væskeoverfladen hæves herved til et niveau, hvor overfladen "skimmes", og urenheder på overfladen føres videre ud i kloakken.
- › Kl. 02.00: Prisen på el er lav og varmepumpen startes. Herved lades den varme brugsvandstank helt op. Forbruget er lavt, og varmepumpen kan køre med et lavt temperaturløft med stor COP til følge.
- › Kl. 05.00: Den varme brugsvandstank er ladet og varme er evt. overakkumuleret i bygningen. Brønden tømmes nu og siderne spules for at frigøre aflejringer herpå. Morgenbadet og formiddagens forbrug vil herefter gradvist fylde brønden igen og styringen går over til dagsdrift. Alternativt tømmes kun den øverste del af brønden og lejlighedsvis kan brønden tømmes helt.

Det antages for ovenstående styringsstrategi at en varmt brugsvandstank af en tilstrækkelig størrelse er installeret, og det er muligt at overakkumulere varme i beholderen.

### 8.2 Smart Grid

Et centralt element er styringen af systemet. Her vil lagringstiden af spildevandet i brønden give mulighed for at opnå en Smart-Grid effekt af teknologien. Det vil så at sige være muligt at benytte brønden som eksternt varmelager, hvor varmepumpen



kun udnyttes i perioder, hvor det er muligt at købe billig og miljøvenlig strøm. I så fald skal brønden isoleres. Ulempen er dog at varmeveksleren og varmepumpe skal være meget større end hvis varmepumpen kører konstant. Dette betyder at anlægget bliver dyrere og i dag er der ikke noget privatøkonomisk incitament for at vælge en Smart Grid styringsstrategi.

Anlægsløsningen tænkes for at minimere investeringen så standardiseret som muligt. Derfor tænkes anlægget også udført i visse standardiserede størrelser. Anlæggets størrelser vil være bestemt af den eksisterende spildevandsbrønds dimensioner, boligblokkenes størrelse, ønsket om "Smart Grid" fleksibilitet og andre forhold. Muligheden for at udnytte den fleksibilitet som den lagring af spildevand i spildevandsbrønden tillader, er dog en oplagt mulighed. Graferne i afsnit 4.6 indikerer, at der efter morgenens aktiviteter vil være meget varme til rådighed i spildevandet, men at denne varme delvist kan lagres til før aftenens forhøjede forbrug. Hvornår varme produceres fra morgenens høje udledning kan være bestemt af elprisen som varierer hen over dagen. Ligeledes kan aftenens forhøjede produktion af spildevand gemmes og varmen først trækkes ud af denne om natten, hvor elprisen er meget lav.

Såfremt at varmen skal kunne produceres uafhængigt af hvornår denne forbruges, kan visse systemmæssige tilføjelser til energisystemet blive nødvendigt. På brugsvandssiden kan en varmtvandsbeholder af en tilstrækkelig størrelse være nødvendig. Hvis spildevandsoplandet er fra flere ejendomme kan den ejendom der udnytter varmen også få dækket en del af rumvarmebehovet, styring heraf kan også gøres Smart Grid parat. På rumvarmesiden kan der benyttes termisk lagring (en buffertank skal dog være meget stor, før end denne kan flytte længere tids varmebehov). En anden mulighed er at acceptere, at rumtemperaturen må veksle inden for et vist komfortinterval. Dette værende f.eks.  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Dette vil muliggøre at overakkumulere varme passivt i bygningskonstruktionen, når elprisen er lav og acceptere et mindre temperaturfald, når elprisen er høj. Over- og underakkumuleringen skal dog koordineres med, hvornår varmen i spildevandet er tilstede samtidig med elprisens variationen. Yderligere målinger sammenholdt med elprisen vil belyse mulighederne for Smart Grid-integration.

Integrationen af Smart Grid vil ikke medføre et fald i elforbruget, men tværtimod en forøgelse heraf, da varmepumpen på visse tidspunkter vil køre i forceret drift under ikke driftsoptimale forhold. Ses der isoleret på den enkelte installation vil elforbruget stige. Dog vil elprisen afspejle det momentane elforbrug sammenholdt med elproduktionen. Hvis el bruges, når elprisen er lav, vil el, der ellers ville blive solgt til udlandet eller gå tabt, blive brugt og fra et samfundsmæssigt perspektiv kan elforbrug og elproduktion være i balance.

## 9 Beregningsmodel

Der er i projektet arbejdet med opbygning af en simpel beregningsmodel til bestemmelse af varmeveksler, buffertank og økonomi. Modellen regner på hvor stor en effekt, der nyttiggøres og hvilken temperatur spildevandet nedkøles til. Modellen er ved denne projektfases afslutning stadig på et indledende stade til intern brug.

Der fokuseres udelukkende på anlæg, hvor spildevandet opsamles i en brønd.

Indtil videre er modellen blot en simpel beregning i et regneark, der altså ikke kan bruges uden viden om opbygningen af regnearket.

I dette afsnit gennemgås beregningsmetoden, og der vises eksempler på dets anvendelse ved beregning af tre cases.

### 9.1 Forbrugsmønstre

En vigtig parameter i systemet, er valg af brønd i forhold til leverancen af spildevand fra brugerne. Her er det brugsmønstret, der er udslagsgivende. Der benyttes profiler for den daglige fordeling af leverancen. Dette gælder både for mængde og temperatur. I case-beregningerne benyttes de følgende input baseret på afsnit 4.6.

Tabel 2: *Baseret på måledata*

Tid	Leverance	Leverance i %	Temperatur
<b>Enhed</b>	l/h pr. boligenhed	-	°C
<b>00-01</b>	5	2%	16,3
<b>01-02</b>	2	1%	12,8
<b>02-03</b>	0	0%	11,4
<b>03-04</b>	0	0%	11,4
<b>04-05</b>	1	0%	12,8
<b>05-06</b>	1	0%	10,8
<b>06-07</b>	9	3%	21,9

<b>07-08</b>	13	5%	25,3
<b>08-09</b>	17	6%	20,8
<b>09-10</b>	21	7%	20,1
<b>10-11</b>	23	8%	21,6
<b>11-12</b>	19	7%	20,5
<b>12-13</b>	21	7%	24,5
<b>13-14</b>	17	6%	19,4
<b>14-15</b>	14	5%	19,6
<b>15-16</b>	14	5%	20,1
<b>16-17</b>	14	5%	20,8
<b>17-18</b>	16	5%	21,3
<b>18-19</b>	17	6%	20,8
<b>19-20</b>	20	7%	25,5
<b>20-21</b>	13	5%	23,5
<b>21-22</b>	10	4%	19,0
<b>22-23</b>	11	4%	25,8
<b>23-00</b>	9	3%	23,0

### 9.1.1 Energibalace for brønd

Modellen er baseret på en timemæssig døgnprofil, hvor der er kvasistationære tilstande i hver time.

Modellen opbygges som nedenfor angivet, hvor index  $i$  angiver tidsinterval.

$$E_i = E_{ind,i} + E_{ud,i} + E_{vv,i} + E_{i-1}$$

$E_{ind}$  angiver energiindholdet i det vand, der tilføres brønden med spildevandet

$$E_{ind} = \dot{V}_{ind} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ind} - T_{brønd})$$

$E_{ud}$  angiver energiindholdet i det vand, der fjernes fra brønden med spildevandet

$$E_{ud} = \dot{V}_{ud} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ud} - T_{brønd})$$

$E_{vv}$  angiver den effekt, der fjernes via varmeveksling med drikkevand eller via varmepumpe.

$$E_{vv} = \text{fjernet effekt}$$

I første ligning beregnes  $E_i$  for én time. For den efterfølgende time vil den "over/underskydende" energi fra forrige time blive videreført i beregningen.

Som input benyttes forsyning af spildevand som bestemt via målinger i Skovgårds-parken eller via det forbrugsmønster som er fundet i forrige afsnit.

I modellen er det vigtigt at bemærke, at brønden enten kan tømmes løbende – dvs.  $V_{ud} > 0$  for alle timer, eller den kan tømmes momentant. Sidstnævnte antages altid at foregå mellem to tidsskridt i beregningen. Herudfra sættes  $E_{i-1} = 0$ .

I de praktiske beregninger angives en værdi af  $E_{vv}$  der sikrer, at temperaturen i brønden ikke bliver for kold.

## 9.2 Beregninger

### 9.2.1 Cases

Der regnes på følgende scenarier:

- › Opgang på 10 lejligheder med fuld opvarmning af brugsvand
- › Lejlighedskompleks på 30 lejligheder med fuld opvarmning af brugsvand
- › Lejlighedskompleks på 100 lejligheder (med forvarmning af brugsvand og eftervarme fra f.eks. fjernvarme)

### 9.2.2 Anlæg med varmepumpe

Der er beregnet varmegenvinding for to cases, hvor en opgang med 10 lejligheder og en boligblok med 30 lejligheder forsyner en 5 meter dyb brønd med diameter på 0,5 meter. I denne brønd er der placeret en 4,5 meter lang kappe, der varmeveksler mellem kølekredsen i varmepumpen og spildevandet. Der er regnet med en varmeoverføring på 100 W/m<sup>2</sup>K og kølekredsen er antaget at være 3°C i indløbs-temperatur.

### 9.2.3 Kombination af direkte virkende anlæg og varmepumpe

Der er regnet på spildevand fra en bebyggelse på 100 lejligheder, der samles i en 3,5 meter dyb brønd med diameter på 1,8 meter. I brønden er der placeret en 50 m spiral øverst til direkte veksling med spildevandet. I denne vekslerkreds cirkulerer vand på 8°C, der bliver opvarmet til 2 K koldere end spildevandets indløbstemperatur. Nederst i brønden placeres en eller flere f.eks. ø22 mm spiraler på i alt 300 m (kunne også være en kappe med tilsvarende areal), hvor spildevandet varmeveksles med kølekredsen i varmepumpen, der har en indløbstemperatur på 3°C. Der er regnet med en varmeoverføring på 100 W/m<sup>2</sup>K. Resultaterne ses i

## 9.2.4 Resultater

De betydningsfulde parametre er varmevekslerens samlede overfladeareal (veksleren til varmepumpen er af størst betydning) samt varmepumpeeffekten. Der er regnet med en effekt i varmepumpen på 1-50 kW.

Tabel 3: Resultater for tre case-beregninger, der viser betydningen af varmevekslerens overfladeareal for den største udnyttelige varmepumpekapacitet.

	Opgang	Boligblok	Bebyggelse
<b>Lejligheder</b>	10 stk.	30 stk.	100
<b>Brøndvolumen</b>	982 liter	982 liter	8.906 liter
<b>Varmevekslerens samlede overfladeareal</b>	7,1 m <sup>2</sup>	7,1 m <sup>2</sup>	24,1 m <sup>2</sup>
<b>Teknologi</b>	Varmepumpe	Varmepumpe	Varmepumpe og direkte varmeveksling
<b>Energigenvinding [%]:</b>			
<b>Varmepumpeeffekt</b>	Opgang	Boligblok	Bebyggelse
<b>1 kW</b>	26 %	9 %	10 %
<b>2 kW</b>	49 %	17 %	13 %
<b>5 kW</b>	88 %	36 %	20 %
<b>10 kW</b>	92 %	63 %	33 %
<b>15 kW</b>	92 %	66 %	41 %
<b>50 kW</b>	92 %	67 %	68 %
<b>Energigenvinding [kWh/døgn]:</b>			
<b>Varmepumpeeffekt</b>	Opgang	Boligblok	Bebyggelse
<b>1 kW</b>	16 kWh	16 kWh	61 kWh
<b>2 kW</b>	30 kWh	32 kWh	77 kWh
<b>5 kW</b>	54 kWh	67 kWh	125 kWh
<b>10 kW</b>	56 kWh	117 kWh	202 kWh
<b>15 kW</b>	56 kWh	123 kWh	250 kWh
<b>50 kW</b>	56 kWh	123 kWh	415 kWh
<b>Største udnyttelige varmepumpeeffekt</b>	8,8 kW	12,6 kW	46,7 kW

Det er af afgørende betydning, at varmevekslerens overfladeareal er stort nok i forhold til mængden af spildevand, da varmepumpen ellers ikke kan udnytte sin fulde kapacitet.

## 10 Diskussion og konklusioner

Rapporten viser, at der er et potentielt stort spare potentiale ved decentral genvinding af varmen i spildevand. Decentral genvinding af varme vil give en ubetydelig påvirkning af temperaturen ved rensningsanlægget, hvor temperaturen vil være tæt på jordtemperaturen.

Da temperaturtabet i ledninger er stort, bør varmegenvindingsvekslere placeres så tæt ved kilden som muligt, især hvis man ønsker direkte forvarmning af det varme brugsvand.

Rapporten anviser metode og potentiale for genvinding af varme uden separering af gråt og sort spildevand. Hvor det er muligt, vil genvinding på det varmere badevand være at foretrække, hvis en separat faldstamme herfor let kan indpasses – dette er dog mest oplagt ved nybyggeri.

Anlæg med en lille varmepumpe, der kører jævnt i mange timer med lavest mulig temperaturdifferens og mindre tab ved opstarter, vil give en bedre effektivitet og lavere pris end et anlæg med en større varmepumpe, der kører i færre timer.

Varmeveksleren skal dimensioneres for en passende tilsmudsning – forsøg i fase 1b vil vise, hvilket overgangstal man reelt kan arbejde med over tid. I fase 1b udfører projektets parter forsøg med 2 udvalgte designs.

En varmepumpe til forvarmning vil give en bedre COP end en varmepumpe der skal opvarme brugsvandet til 55°C.

Anlæg med varmepumpe kan derfor have gavn af at blive suppleret med anden vedvarende energikilde f.eks. solvarme i sommerhalvåret.

Genvindingsanlæg med varmepumpe er mest interessant for bygninger, der i dag er olie- eller naturgasfyrede. I eksisterende fjernvarmeforsynede områder vil små varmepumpe anlæg have svært ved at konkurrere, mens der stadig er potentiale for større anlæg. De større anlæg kan evt. ejes og drives af forsyningselskaber, som ønsker at indpasse varmepumper i forsyningen.

## 11 Bilag A – Udkast til omfangsveksler

CAD-tegning af et muligt design.

