

JULI 2019
DANSK ENERGI - ELFORSK

Varmepumper i eksisterende bebyggelse – fase 1b

Genvinding af varme fra spildevand

Systemdesign, komponenter og verificering

347-029 - SLUTRAPPORT



 **ELFORSK**

Geo Heat Ex

brabrand
boligforening 



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

COWI

JULI 2019
DANSK ENERGI - ELFORSK

Varmepumper i eksisterende bebyggelse – fase 1b

Genvinding af varme fra spildevand

Systemdesign, komponenter og verificering

347-029 - SLUTRAPPORT

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.
A066063	347-029 Slutrapport

VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
2.0	04.07.2019	Slutrapport	Maja Grud Minzari (COWI) Reto M. Hummelshøj (COWI) Esben Vendelbo Foged (TI) Kristian Oluf Sylvester-Hvid (TI)	RMH/MGCH	MGCH

INDHOLD

1	Resume	7
2	Summary	8
3	Indledning	9
3.1	Om projektet	9
3.2	Projektet er en videreudvikling	9
3.3	Projektets formål	10
4	Baggrund	11
4.1	Projektets idé	11
4.2	Energipotentialet i spildevandet	11
5	Forløb/proces/udvikling/udfordringer	15
5.1	Demo-site 1: Havnehusene	15
5.2	Demo-site 2: Skovgårdsparken	16
6	Projektets resultater	18
6.1	Prototypedesign og etablering af pilotanlæg	18
6.2	Praktiske erfaringer fra udførsel og drift	23
6.3	Målinger	25
6.4	Databehandling	29
6.5	Anti-fouling strategier	32
7	Afslutning	33
7.1	Konklusion	33
7.2	Markedspotentialet er intakt	33
7.3	Designforbedringer	34

8 Formidling 35

Bilag A – PI-diagram 36

1 Resume

Denne rapport udgør slutrapporten på ELFORSK-projektet "347-029 Varmepumper i eksisterende bebyggelse – Fase 1b. Systemdesign, komponenter og verificering", som løb fra februar 2015 til maj 2019.

Projektets formål var at afsøge, udvikle og eftervise mulige system- og komponentdesigns til varmegenvinding fra spildevand fra nye og eksisterende etageboligbebyggelser.

Projektet bygger oven på et tidligere ELFORSK projekt med titlen "345-046 Varmepumper i eksisterende bebyggelse – Fase 1". Her var formålet at udvikle og teste en teknologi til genvinding af varme fra gråt og sort spildevand fra eksisterende boligbebyggelser. Rapporten herfra er tilgængelig på ELFORSK's hjemmeside og kan downloades her: https://elforsk.dk/sites/elforsk.dk/files/media/dokumenter/elforsk/Slutrapport_3.0.pdf.

I nærværende projekt, er der taget udgangspunkt i to konkrete bebyggelser (Havnehusene og Skovgårdsparken), der begge tilhører Brabrand Boligforening. I Havnehusene blev designet, produceret og installeret i alt fem spiralvarmevekslere i fem dertilhørende energibrønde. I Skovgårdsparken blev en eksisterende samlebrønd udboret til yderligere 6 m dybde, hvori en specialdesignet kappevarmeveksler i stål blev nedsænket og installeret.

På trods af sparsomme måleresultater fra projektets prototyper, vurderer projektgruppen på baggrund af dette projekt, at der stadig er et stort potentiale for genvinding af varme fra spildevand. Der er opnået nogle værdifulde erfaringer, som danner grundlag for det videre arbejde med at udvikle løsninger til formålet. Det er vigtigt at tage højde for forudsætninger og anvendelsesområde, og konceptet kan være særdeles lovende under de rette omstændigheder. Det gælder bl.a. tilstedeværelsen af et stort og stabilt flow af spildevand, kort afstand fra varmekilde til -veksler, så unødigt varmetab til jorden undgås. Derudover finder konceptet sin største berettigelse i installationer, hvor hovedforsyningsformen er naturgas og/eller der er billig solcellestrøm til rådighed til at forsyne varmepumpe mv.

2 Summary

This report is the final report on the ELFORSK project "347-029 Heat pumps in existing buildings - Phase 1b. System design, components and verification", with a project period from February 2015 to May 2019.

The purpose of the project was to investigate, develop and demonstrate possible system and component designs for heat recovery from waste water in new and existing multi-storey dwellings.

The project builds on a previous ELFORSK-project entitled "345-046 Heat pumps in existing buildings - Phase 1". Here, the purpose was to develop and test a technology for recovering heat from gray and black waste water from existing residential buildings. The report from this project is available on ELFORSK's website and can be downloaded here: https://elforsk.dk/sites/elforsk.dk/files/media/dokumenter/elforsk/Slutrapport_3.0.pdf.

In the present project, two specific buildings (Havnehusene and Skovgårds-parken), both of which belong to Brabrand Housing Association, have been used as a starting point. In the Havnehusene, a total of five spiral heat exchangers were designed, produced and installed in five associated energy wells. In Skovgårds-parken, an existing well was drilled to a further 6 m depth, in which a specially designed steel heat exchanger was immersed and installed.

Despite scant measurement results from the project's prototypes, based on this project, the project team estimates that there is still a great potential for recovering heat from wastewater. Some valuable experiences have been gained, which form the basis for the further work of developing solutions for the purpose. It is important to take into account the prerequisites and scope of application, and the concept can be extremely promising under the right circumstances. This applies, for example. The presence of a large and stable flow of wastewater, a short distance from the heat source to the exchanger, avoids unnecessary heat loss to the ground. In addition, the concept finds its greatest justification in installations where the main supply form is natural gas and / or there is cheap solar cell power available to supply heat pump, etc.

3 Indledning

3.1 Om projektet

Denne rapport udgør slutrapporten på ELFORSK-projektet "347-029 Varmepumper i eksisterende bebyggelse – Fase 1b. Systemdesign, komponenter og verificering", som i 2015 modtog tilsagn fra ELFORSK. Det totale projektbudget var 2.188.168 kr., hvoraf støtten udgjorde 1.023.341 kr. Projektperioden varede fra 1. februar 2015 til 1. maj 2019. Projektet er et udviklings- og demonstrationsprojekt, som anvender to faktiske byggeprojekter i regi af Brabrand Boligforening som testplatform. Projektgruppen består af følgende samarbejdspartnere:

- > COWI A/S (Tilsagnshaver og projektleder)
- > Teknologisk Institut
- > Geo Heat Ex
- > Brabrand Boligforening

Henvendelse vedrørende projektet kan ske til projektleder:

Maja Grud Minzari

mgch@cowi.com

Tlf. nr. 5640 1268 / 2627 2126

Rapporten er udarbejdet af følgende forfattere:

- > Maja Grud Minzari, COWI A/S
- > Reto M. Hummelshøj, COWI A/S
- > Esben Vendelbo Foged, Teknologisk Institut
- > Kristian Oluf Sylvester-Hvid, Teknologisk Institut

Projektgruppen påtager sig intet ansvar for den videre anvendelse af projektets resultater, som helhed eller i uddrag, ligesom der tages forbehold for evt. fejl og mangler.

3.2 Projektet er en videreudvikling

Projektet bygger oven på et tidligere EFLFORSK projekt med titlen "345-046 Varmepumper i eksisterende bebyggelse – Fase 1", som forløb i perioden 29.01.2013 til 20.04.2015. Her var formålet at udvikle og teste en teknologi til genvinding af varme fra gråt og sort spildevand fra eksisterende boligbebyggelser.

Resultaterne af projektet var skitsedesign, potentialevurderinger og definition af koncept. Rapporten herfra er tilgængelig på ELFORSK's hjemmeside og kan downloades her: https://elforsk.dk/sites/elforsk.dk/files/media/dokumenter/elforsk/Slutrapport_3.0.pdf.

3.3 Projektets formål

Projektets formål var at afsøge, udvikle og eftervise mulige system- og komponentdesigns til varmegenvinding fra spildevand fra nye og eksisterende etageboligbebyggelser. Konceptet bygger videre på erfaringer og resultater opnået i fase 1, der viste et stort potentiale for teknologien. I fase 1 blev rammerne for konceptet defineret og teknologien skitseret og beskrevet. Formålet med fase 1b er at videreudvikle denne teknologi og etablere, indkøre, måle og erfaringsopsamle fra to-tre prototypedesigns til varmegenvinding fra spildevand.

Der er taget udgangspunkt i to konkrete bebyggelser, der begge tilhører Brand Boligforening:

- > Et nybyggeri ved navn Havnehusene i Aarhus, som er et projekt med lejligheder og ungdomsboliger. Her er fem nyetablerede spildevandsbrønde, hvori der er installeret en spiralvarmeveksler.
- > Et eksisterende byggeri, Skovgårdsparken, der har undergået en større renovering med bl.a. etablering af solfangeranlæg, borehuller (energibrønde) og varmepumpe. Her er en eksisterende brønd boret yderligere 6 m dybere, hvori en præfabrikeret kappeveksler er nedsænket.



Figur 1: Visualisering af Havnehusene på udbygningen af Aarhus Havn.

4 Baggrund

4.1 Projektets idé

Projektet tager udgangspunkt i et ønske om at udvikle et system, der kan genvinde varmen fra spildevand, som vi i dag leder i kloakken, hvilket er paradoksalt sammenholdt med de store indsatses, der gøres for at mindske varmetab gennem klimaskærm og via ventilationen af bygninger.

Konceptet om genvinding af varme fra badevand er ikke nyt og kendes bl.a. fra svømmehaller, men det forudsætter, at det grå badevand føres i separate rør adskilt fra det sorte spildevand. På den måde er det installationsmæssigt relativt ukompliceret. Dog spiller flowet og vandmængden en stor rolle. Jo mere vand og jævnt flow, des bedre forhold for genvinding af varmen.

Separering af spildevand og dobbelt rørføring er fordyrende, og hvis man kunne undgå denne separering, ville installationer i forbindelse med f.eks. boliger kunne udføres billigere. Der ville ikke være behov for store indgreb i afløbsinstallationer og føringsveje såfremt varmegenvindingen sker i f.eks. spildevandsbrønden. Varmegenvinding fra spildevand kan derfor etableres ifm. eller som en "konkurrent" til mere almindelige renoveringsprojekter.

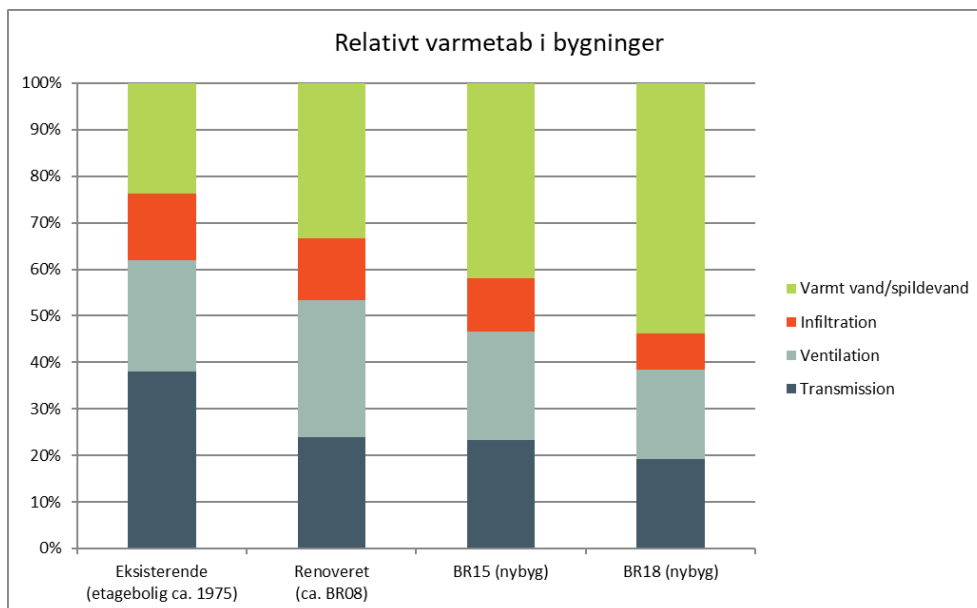
Det er dog endnu ikke lykkedes i stort omfang at udbrede en praksis for genvinding af sort spildevand, da faststofindholdet fra køkkener og toiletter besværliggør udførelsen og nødvendiggør grundige overvejelser vedrørende vedligehold.

Nærværende projekt arbejder derfor med genvinding af varme fra det sorte spildevand, hvilket betyder, at der for installationen er tre gange så stor en vandmængde til rådighed. Dog er temperaturen naturligvis lavere end i det rene badevand (typisk er højst 30°C ved indløb til bruseafløb. Vandfordampningen afkøler vandet ca. 5°C), men ved at introducere en varmepumpe, er der stadig et potentiale for genvinding selv ved lavere temperaturer.

4.2 Energipotentialet i spildevandet

Det varme vand udgør en stadigt større andel af energiramme

Som det blev eftervist og dokumenteret i slutrapporten for fase 1, er der et stort potentiale i at genvinde varmen i spildevandet fra boliger. Udviklingen i energiforbruget er faldet støt siden de første energikrav kom ind i bygningsreglementet i 1970'erne til BR18, hvor energirammen til boliger er helt nede på 30 kWh/m² pr. år til rumvarme, opvarmning af varmt brugsvand og el til bygningsdrift. Mere isolering, ventilation med varmegenvinding og energivinduer har gjort, at rumvarmeforbruget er faldet mere end forbruget til opvarmning af varmt brugsvand. Derfor udgør andelen af en boligs energiforbrug til opvarmning af varmt brugsvand nu ca. 50%, se Figur 2, hvilket gør det til et oplagt mål for besparelser.



Figur 2: Relativt varmetab fra boliger i eksisterende byggeri, renoveret byggeri og nybyggeri.

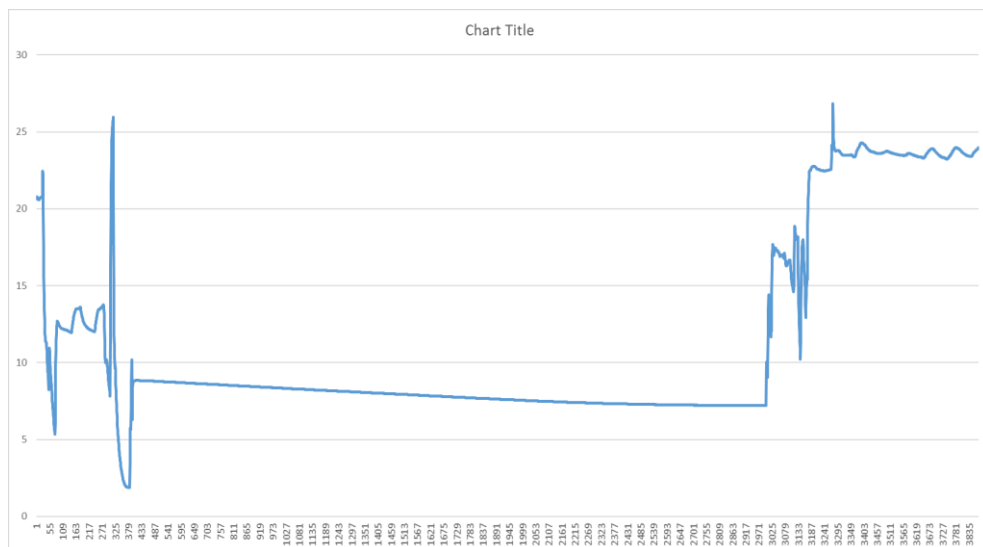
Temperaturmålinger

Forud for installationen af vekslere i spildevandsbrønde, har projektet foretaget målinger af temperaturen på det aktuelle spildevand i Havnehusene. Undersøgelserne har omfattet logning af temperaturer på spildevandet ved hjælp af nedsænkede loggere, som vist i Figur 3. Dette er en lille logger på ca. 7 cm, der kan nedsænkes i en line i det relevante medie.



Figur 3: Datalogger til temperaturmålinger af spildevand

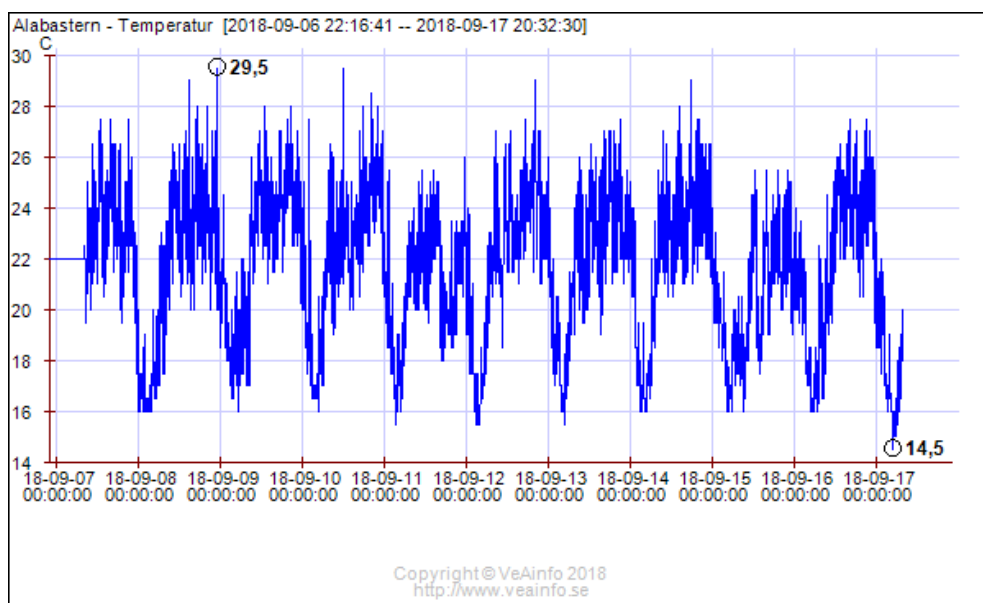
To loggere blev nedsænket i to brønde ved Havnehusene i en periode på ca. 3 uger i januar 2016. Figur 4 viser dataudtræk fra den ene måler (målinger var meget ens). Efter en periode med store udsving, stabiliserer målingerne sig ved en temperatur omkring 7-8 grader, da loggeren placeres i brønden. Som det ses af figuren, falder temperaturen en smule over tid, hvilket skyldes, at det er en kold årstid og jordtemperaturen ved havnefronten er lav og med stor påvirkning fra havvandstemperaturen. Vandet står desuden stille i brønden og, da der på dette tidspunkt ikke er tilsluttet en varmepumpe, falder temperaturen ikke yderligere.



Figur 4: Temperaturmålinger foretaget med datalogger nedsænket i en spildevandsbrønd ved Havnehusene i Aarhus i en periode på ca. 3 uger i februar.

Parallelt med gennemførelse af det aktuelle projekt har projektet undersøgt flere andre cases. Resultatet af disse undersøgelser viser, at det er vigtigt, at der er et pænt stort flow jævnt over dagen, som man vil opnå, hvis der er flere blokke med mange tilsluttede lejemål.

I et større boligkvarter i Växjö i Sverige blev der eksempelvis målt temperaturer på spildevandet på mellem 15-30°C og et gennemsnit på ca. 22°C, se Figur 5. I dagtimerne var dette 23-25 °C. Dette var i september måned, hvor jordtemperaturen generelt er høj.



Figur 5: Målinger af spildevandstemperatur i et boligområde i Sverige over en periode på 10 dage.

Flowet var ca. 50-60 m³/dag og ledningen, der blev målt på, betjener 3 boligblokke med 175 lejligheder. Ledningerne ligger i ca. 3 m's dybde (hvilket er en fordel om vinteren).

Hvis man derimod har et begrænset flow og lange ledninger, og hvis disse er placeret i en fugtig undergrund f.eks. nær sø eller hav (som Havnehusene i Aarhus), vil man derimod se, at spildevandstemperaturen falder hurtigt til jorden temperatur – som i den koldeste periode ofte er 4-6°C, mens det om sommeren stiger til 15-20°C. Der vil altså være store individuelle forskelle i potentialet og det er vigtigt at undersøge de lokale forhold forinden.

5 Forløb/proces/udvikling/udfordringer

5.1 Demo-site 1: Havnehusene

Boligbebyggelsen afd. 31 Havnehusene er opført af Brabrand Boligforening på de bynære havnearealer på Aarhus Ø. Bebyggelsen rummer lejligheder til flere generationer, da den er indrettet med hhv. ungdomsboliger, familieboliger og seniorboliger. Der er lagt vægt på en stærk social profil og de fælles grønne tagterrasser med delvis glasoverdækning understreger dette. De første beboere kunne flytte ind i maj 2015, mens den sidste del af bebyggelsen stod klar 10 måneder senere i marts 2016.

Byggeriet er boligforeningens nyeste byggeri og visionen var at demonstrere et moderne almennyttigt lavenergibyggeri af høj kvalitet og med høj funktionalitet og trivsel. Det er bygget med fokus på at være selvforsynende med energi til varme og varmt brugsvand og derfor i første omgang ikke tilsluttet den nærliggende fjernvarme. Udover genvinding af varme fra spildevand fra fem dertil indrettede brønde, er byggeriet forsynet med teknologier som varmepumper tilsluttet lodrette borer (kaldet energibrønde på PI-diagrammet) samt spildevandsbrøndene, solvarme til produktion af varmt brugsvand og regenerering af de lodrette borer, solceller, boligventilationsvarmepumper med effektiv varmegenvinding og gulvvarme.



Figur 6: *Brabrand Boligforenings afd. 31 Havnehusene på Aarhus Ø med indflytning maj 2015 – marts 2016.*

I 2015 modtog bebyggelsen en plakette af Aarhus Kommune for præmieret arkitektur for Nybyggeri, men desværre blev de gode visioner og store energiambitioner kort tid efter udfordret af en lang række problemer med energisystemet. Disse problemer har været uden for ELFORSK-projektets partnernes indflydelse

og projektramme, og har, udover at være en stor gene for beboerne og boligforeningen, også bremset ELFORSK-projektets fremdrift.

Det er ikke denne rapportes formål at redegøre for bebyggelsens udfordringer og løsninger herpå, de er alligevel kort beskrevet, da ELFORSK-projektet har måttet tilpasse sig udviklingen. Den første vinter havde varmesystemet med jordvarmeboringer og varmepumpe samt solvarme svært ved at opvarme lejlighederne, og det endte med at bebyggelsen blev koblet på den nærliggende fjernvarme. Årsagen var tilsyneladende et underdimensioneret varmesystem baseret på en optimistisk energirammeberegning i kombination med en uhensigtsmæssig dimensionering af gulvvarmesystem og placering af kanaler fra ventilationsanlægget.

Siden oplevede boligforeningen klager fra beboere, der var generede af lavfrekvent støj fra bebyggelsens teknikrum, hvor varmepumperne var placeret. Imens boligforeningen genhusede de udsatte beboere i de overliggende lejligheder, blev teknikrummet ombygget og varmepumperne placeret et andet sted i bebyggelsen på et vibrationsdæmpende underlag.

Disse og andre udfordringer betød, at installation af varmevekslerspiralerne i brøndene blev forsinkede, og da de endeligt var installeret, afventede idriftsættelsen ombygningen af teknikrummet og tilslutning til varmepumperne.

I skrivende stund er det usikkert, hvorvidt spiralvekslere og varmepumper kommer i drift, da Brabrand Boligforening har meddelt byggeriets parter, at man ikke længere ønsker at benytte systemet, men i stedet vil basere rumopvarmningen på fjernvarme.

ELFORSK-projektets bidrag: at udvikle, installere og evaluere en spiralformet varmeveksler til installation i fem dertil fremstillede spildevandsbrønde.

5.2 Demo-site 2: Skovgårdsparken

Skovgårdsparken er en afdeling af det almennyttige Brabrand Boligforenings bebyggelser i Aarhus. Her har man renoveret boligerne og udført 3 boligblokke med et alternativt energisystem bestående af varmepumper og solvarme. Man ønskede at demonstrere at man ikke behøvede at være koblet på fjernvarmen og overvejede helt at afkoble flere blokke. Siden er man dog kommet til en erkendelse af, at det nok er bedre at have en kombination af en centralt produceret grøn fjernvarmeforsyning baseret på affaldsforbrænding kombineret med supplerende medproduktion på stedet.

I skovgårdsparken var allerede installeret et simpelt varmegenvindingsystem tilkoblet en varmepumpe ifm. spildevandet. Det var derfor nærliggende at afprøve det nye system koncept ved at udbore den eksisterende brønd ved Skovgårdsparken. Denne brønd betjener en blok og et fællesvaskeri.

ELFORSK-projektets bidrag: at udvikle, installere og evaluere en varmeveksler til nedsækning i en udboret eksisterende samlebrønd. Ved afslutning af

projektet er veksleren udviklet, produceret, leveret og installeret, men en igangværende konflikt vedrørende mangelfhjælpning imellem boligforeningen og totalentreprenøren har sat implementeringen i stå, og det er på nuværende tidspunkt uvist, om anlægget kommer i drift.



Figur 7: Skovgårdsparken

6 Projektets resultater

6.1 Prototypedesign og etablering af pilotanlæg

6.1.1 Prototype testet på Havnehusene

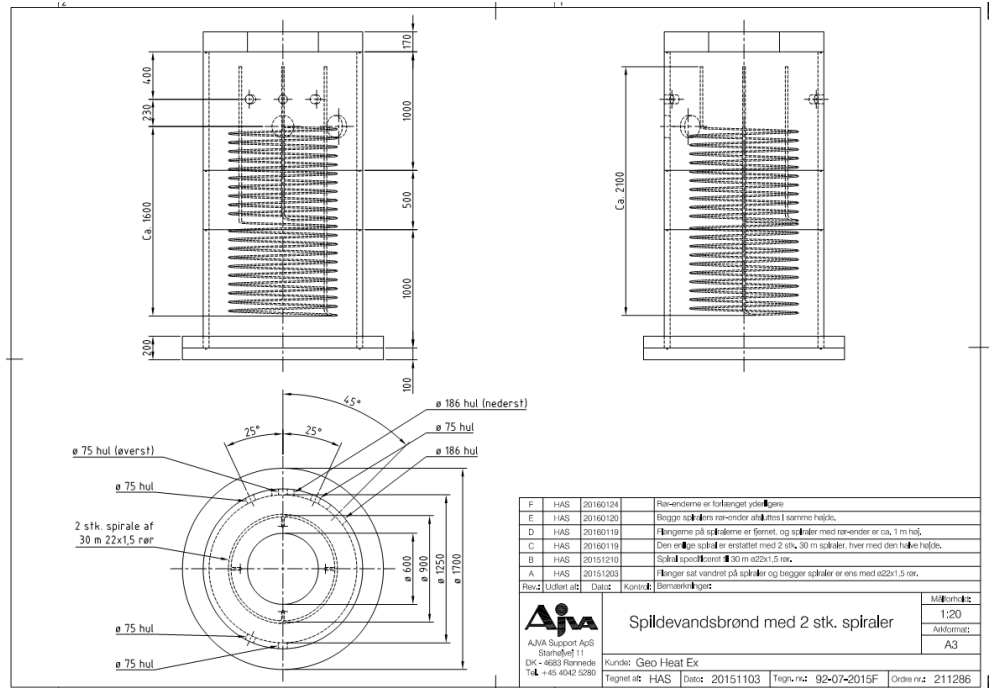
Da grundvandet ved Havnehusene står højt og undergrunden bl.a. består af gamle molesten var det prækonditionelt, at brøndene ikke måtte være dybe, ligesom, at spildevandet skulle pumpes videre. Der ledes ikke regn- og overfladevand til brøndene. Det var derfor nærliggende at benytte disse pumpebrønde til at etablere varmevekslere til en varmepumpe for varmegenvinding.

Designet består af to spiraler udført i rustfrit stål og produceret på en beholderfabrik, der laver spiraler til varmtvandsbeholdere. Afstanden mellem vindingerne er rigelig stor og fastsat ud fra en betragtning om, at akkumulering af faststoffer herimellem skal holdes på et minimum. Den kunne sandsynligvis godt være mindre og dermed ville man opnå et større vekslerareal. Veksleren er opdelt i segmenter, der er koblet parallelt for at begrænse rørdimensionen. Der blev desuden lavet en kobling således, at den øverste af de to spiraler i hver brønd kunne benyttes til at forvarme vand direkte. Der er god plads til spildevandspumpen, som placeres i midten og også god plads til at servicere. Det er muligt at hejse pumpen op, hvis der skulle vise sig behov herfor, og brønden er udført uden kegle, så toppen kan tages af.

Da spildevandet pumpes videre med en trykledning, er der ikke risiko for at rotter fra hovedkloaksystemet finder ind i vekslerbrøndene. Se billeder fra undermontagen i Figur 8 og tegning fra beholderfabrik.



Figur 8: T.V. under montage med midlertidige rørinstallationer og før installation af spildevandspumpen. T.H. foto af vekslerne før montagen.



Figur 9: Tegning af prototype testet på Havnehusene



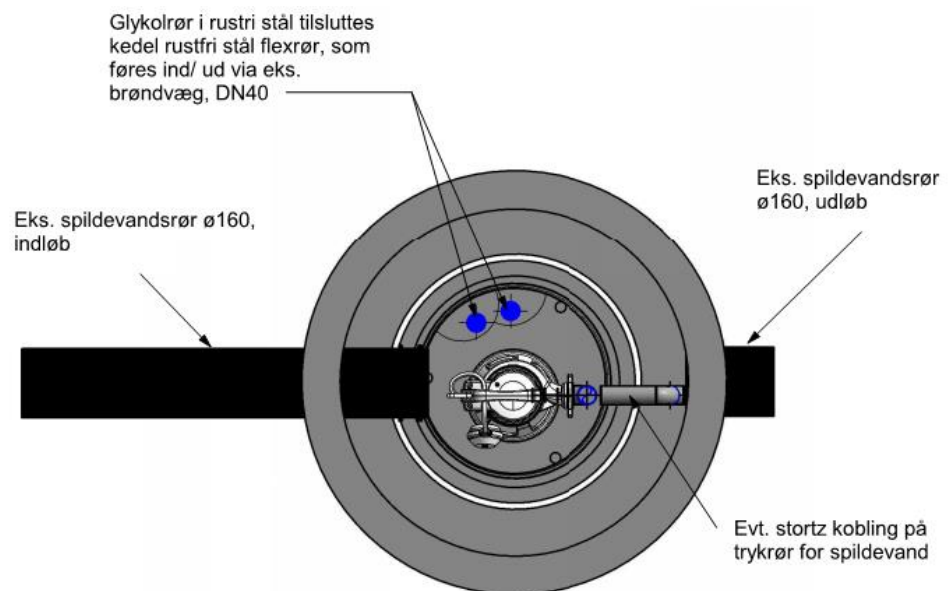
Figur 10: Brønddæksel og kig ned i den færdigetablerede brønd. Stålspiralen kan ses i bunden af brønden på billedet til højre samt vandspejlet og spildevandsudledningen.

6.1.2 Prototype testet i Skovgårdsparken

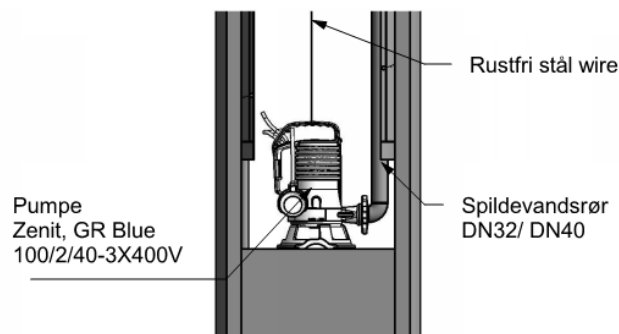
Varmeveksleren, som blev udført til Skovgårdsparken, er en kappevarmeveksler i rustfrit stål. Ideen er, at man kan bore ned i en (vilkårlig) eksisterende afløbsbrønd med et Ø600-700 mm jordbørd f.eks. 6 meter under den nuværende bund. Herefter sænkes et plastrør med lukket bund ned og støbes fast. Hvis der er vand i boringen, fyldes røret blot med vand til det synker til bunden. Herefter sænkes veksleren ned sammen med en spildevandspumpe.

Fordelen er, at det ikke tager yderligere plads i omgivelserne, og at veksleren optager energi fra begge sider. Skulle pumpen gå i stykker, løber spildevandet igennem brønden alligevel indtil pumpen er blevet tilset. Samme funktion benyttes til at fjerne fedt, som er blevet skimmet og flyder på overfladen. Brønden står altid fuld af vand mellem 2 niveauer nær toppen, som gør at varmepumpen kan trække varme ud af spildevandet over længere tid. Det udpumpede spildevand er derfor altid kold og kan køles til f.eks. 4°C.

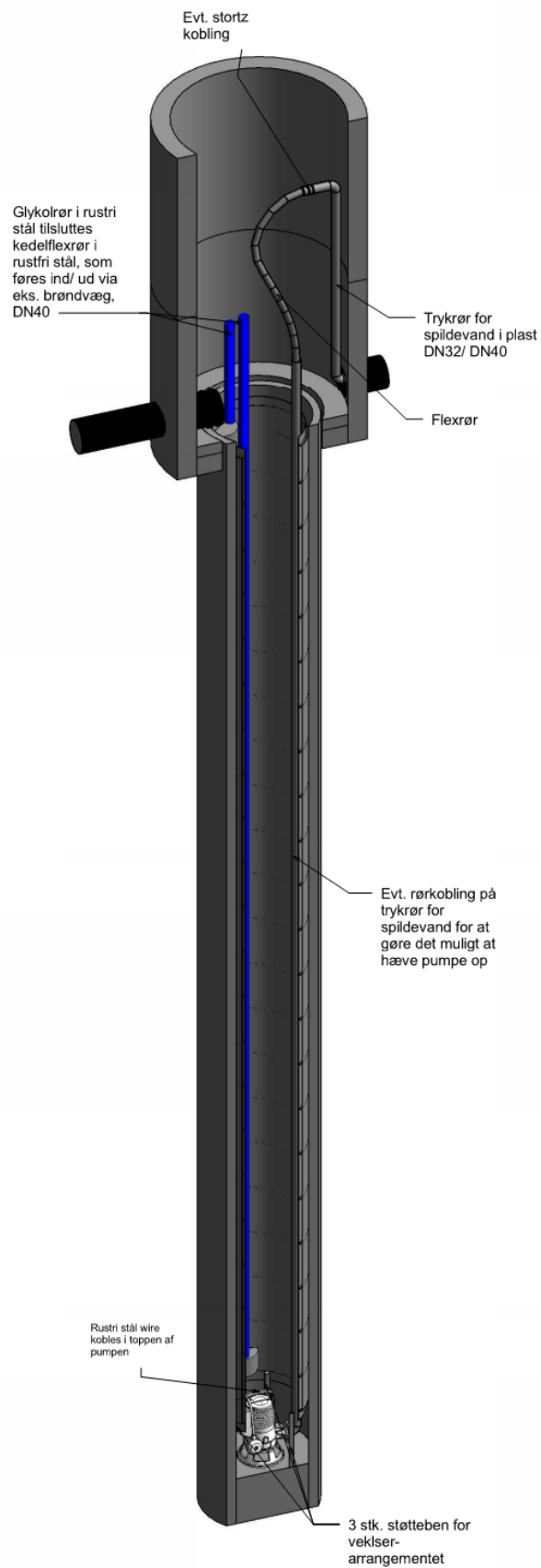
Projektet har udført et 3D-design til produktion, se skitser i Figur 13-Figur 12.



Figur 11: Skitse af vekslerdesign, vandret snit



Figur 12: Skitse af vekslerdesign, bund med pumpe



3D VIEW AF BRØND-ARRANGEMENTET

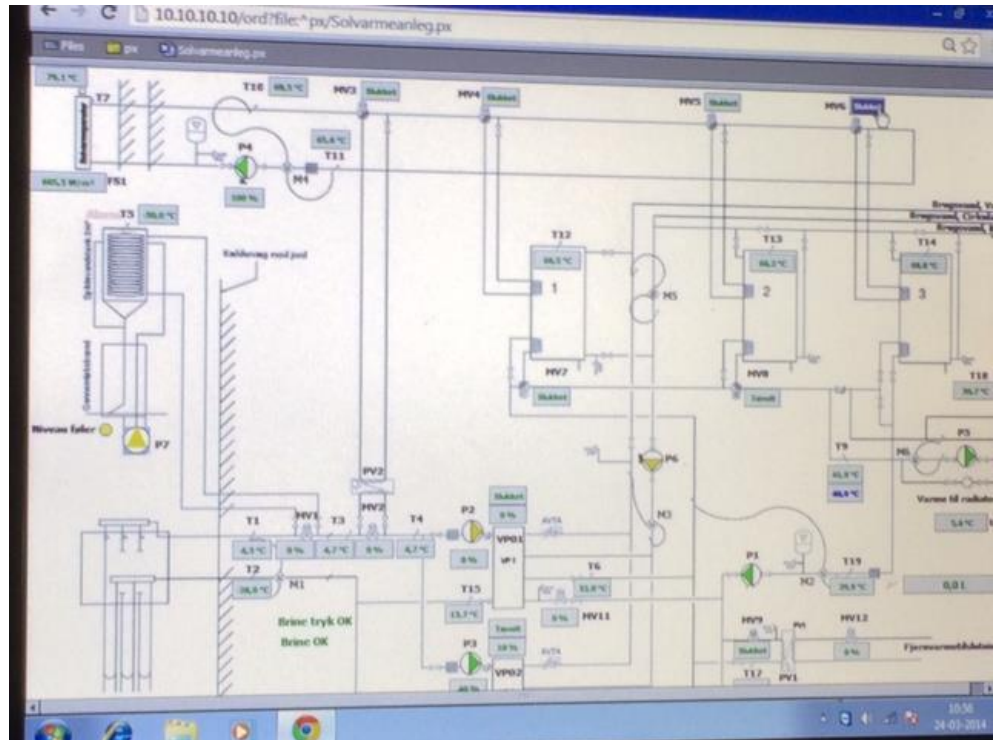
Figur 13: Skitse af prototypedesign



Figur 14: Foto af rørkappeveksler.



Figur 15: Varmeveksler nedsænkes i den udborede brønd.



Figur 16: Diagram over installationen i Skovgårdsparken, Kilde Geo Heat Ex.

6.2 Praktiske erfaringer fra udførelse og drift

Spiralerne til brøndene i Havnehusene blev monteret i to tempi i hhv. foråret og efteråret 2016, og har kortvarigt været i testet i drift. Varmepumperne og den resterende del af den omkringliggende installation, herunder temperatur- og flowmålere har ikke været klar til drift på noget tidspunkt pga. forhold beskrevet under punkt 5.1 Demo-site 1 – Havnehusene. Der er dog alligevel en række punkter, hvorpå projektet har opnået nogle erfaringer, der er interessante at videregive.

Afstand til varmekilde

Projektet viste, at varmeveksling med jorden, fra spildevandet forlader bygningen, til det ender i brønden, gør, at vandet afkøles, især hvis flowet er lavt. Det betyder omvendt også at afkølet spildevand efter en varmepumpe hurtigt varmes op igen til den omgivende jords temperatur altså typisk omkring 10-12°C i bymæssig bebyggelse (lidt koldere om vinteren og varmere om sommeren).

Man bør derfor måle temperaturen i spildevandet over nogle døgn for at vurdere afkølingen. Ved lavt flow er temperaturen typisk nær jordtemperaturen, mens fællesledninger for flere blokke med et større flow typiske ligger 5-10°C over jordtemperaturen. Dette viste indledende målinger, se afsnit 4.2. Jordtemperaturen svinger typisk mellem 10 og 18°C over året.

(Tilførsel af overfladevand vil køle vandet, specielt hvis det er smeltevand om vinteren).

Vådservietter og pumpevalg

I det oprindelige design var det en forudsætning, at spildevandspumpen skulle være en maceratorpumpe, som kunne neddele det pumpede materiale. Det har dog på Havnehusene vist sig, at denne pumpetype ikke kan neddele vådservietter (slidstærkt, stoflignende materiale), som derved giver tilstopninger. Man skal i stedet gå op i rørdimension og pumpedimension dvs. at benytte en normal spildevandspumpe (3x400V af hensyn til startmoment) og med en frigang, så den kan pumpe vådservietter videre. Af hensyn til servicering bør pumpen glide i en styreskinne, så den let kan tages op.

Rengøring og tømning

Det bør være let at tømme spildvandsbrønden med en slamsuger og man skal kunne stige ned i brønden og tilse eller om nødvendigt rengøre veksleren. Hvis brønden er dyb, bør der være et mellemdæk.

Der er ikke observeret væsentlig tilsmudsning med fedt ud fra visuel inspektion, se billeder i Figur 10, hvor spiralerne har været monteret i ca. 2 år – det kan dog være et problem på den øverste del af varmeveksleren, hvis man er et sted, hvor beboere tømmer stegeolie direkte i køkken afløbet. Er det tilfældet, bør der benyttes en fedtudskiller.

Pris på el og fortrængt varme

Systemet egner sig især til steder, hvor man kan benytte billig el produceret på solceller. Den marginale produktionspris skal holdes op imod prisen for at producere varme på naturgas eller benytte fjernvarme i området (den variable del af tariffen).

Varmepumpens COP bliver bedst, hvis varmen kan benyttes ved lav temperatur f.eks. gulvvarme. Dette betyder implicit en lavere temperaturdifferens og højt flow. Alternativt kan varmpumpen benyttes til batch-vis opvarmning af brugsvand (dvs. at opbygge en tilstrækkelig temperatur i en separat varmtvandsbeholder over noget tid, hvilket giver en bedre gennemsnitlig COP – Teknologien kendes også som ISEC (Isolated System Energy Charging) teknologien). Det vurderes muligt at opnå en COP på 4.

Nedenstående beregningseksempel indikerer, hvor stor investeringen bør være for at konceptet er rentabelt.

Indledende rentabilitetsbetragtning

Antaget varmtvandsforbrug i en boligejendom:	25 kWh/m ²
Forventet besparelse ved varmegenvinding (80 %*):	20 kWh/m ²
Elforbrug (COP 4):	5 kWh/m ²
Årlig besparelse ved fjernvarmepris på 0,5 kr./kWh:	12,5 kr./m ²
Udgift til elforbrug: (1,5 kr./kWh):	-7,5 kr./m ²
Maksimal rentabel tilbagebetalingstid, antages:	10 år
Maksimal omkostning til installation:	50 kr./m ²

Eksempel: Boligejendom på 4000 m²
 Maksimal samlet pris på installation: 4000 m² x 50 kr./m² = 200.000 kr. ekskl. moms

Det er en fordel, hvis elforbruget dækkes af egenproduceret solcellestrøm, som ellers var solgt til meget lav feed-in tarif.

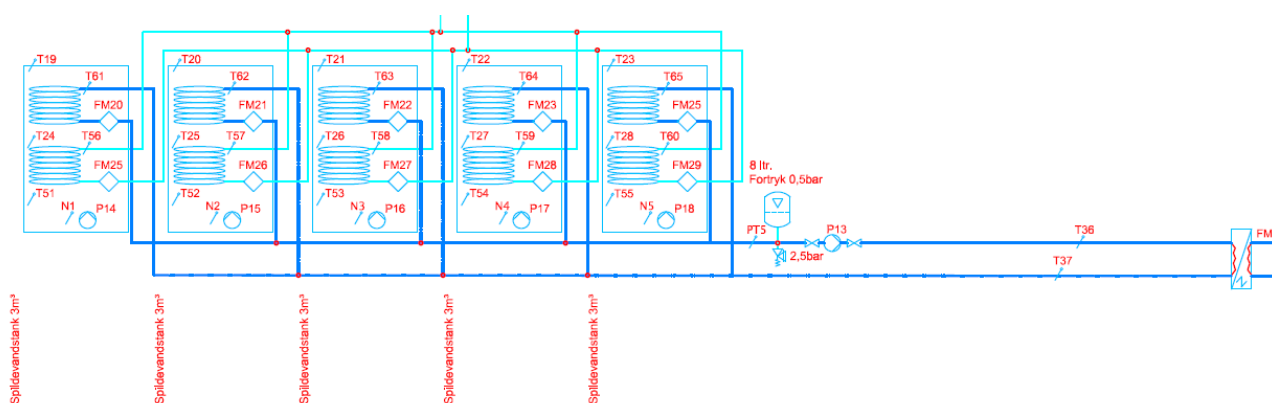
* Procentvis besparelse (erfaringstal)

6.3 Målinger

6.3.1 Måleprogram for havnehusene

Det nedenstående måleprogram er designet til Havnehusene. Referencer til målepunkter er derfor unikke for Havnehusene. Måleprogrammet vil dog kunne modificeres til andre installationer.

I Figur 17 ses et udsnit af PI-diagrammet for det samlede system installeret ved havnehusene.



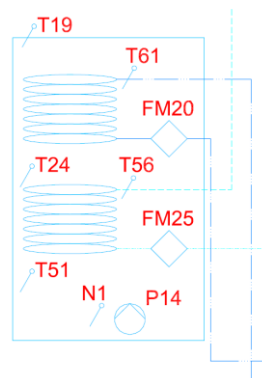
Figur 17: Udsnit af PI-diagrammet for det samlede system installeret ved havnehusene. Se oversigt over samlet system i afsnit 0 "Bilag".

Spildevandsbrøndene (fem i alt) er vist på illustrationen. I hver spildevandsbrønd er installeret to varmevekslere. Købet til varmevekslerne ses to rørføringer: en mørkeblå, der forvarmer det varme brugsvand (væskekobling yderst til højre) og en turkis, der viser varmevekslingen med henblik på

rumvarmeproduktion (koblet med en varmepumpe). På figuren er anvist en række temperaturloggere (angivet ved TXX hvor XX er et tal) og flow målere (angivet ved FMXX). Disse benyttes til at bestemme energioptaget rundt i systemet.

I Figur 18 ses et PI-diagram over en enkelt af de fem spildevandsbrønde. I brøndene blev installeret tre temperaturmålere, der loggede temperaturen ned gennem spildevandet. Endvidere var planen, at der pr. varmevekslerspiral ville blive installeret en temperaturmåler på afgang til varmekredsen (VBV-forvarmning eller rumopvarmning) samt én flowmåler pr. varmevekslerspiral. PI-diagrammet vist i Figur 18 skal sammenholdes med PI-diagrammet for hele installationen vist i afsnit 0 "Bilag". I det følgende vil der også blive henvist til målepunkter kun fundet i dette bilag.

Et PI-diagram over brøndene ses i Figur 18.



Figur 18: Et PI-diagram over brøndene

Under målingerne skal der logges på samtlige installerede målere med samme tidsstempel. Ved at sammenholde disse måledata er det f.eks. muligt analysere energioptaget, varmeoverføringskoefficienten samt sammenligne forskellige designs. Se afsnit 6.4 for behandling af måledata.

Energioptaget i det varme brugsvand (totalt for samtlige brønde)

Beregnes ud fra temperaturforskellen imellem T42 og T35 og flowet målet ved FM14.

Samlet energioptag fra spildevandsbrøndene

Det samlede flow målt for i varmevekslerspiralerne i spildevandsbrøndene akkumuleres og sammenholdes med temperaturforskellen målt ved T36 og T37. Herved kan energioptaget beregnes. En forventet samlet afgangstemperatur fra brøndene kan endvidere beregnes ud fra temperaturloggingerne ved afgang fra varmevekslerspiralerne i brøndene sammenholdt med flowene i hver spiral. Denne forventede samlede afgangstemperatur kan sammenholdes med den målte ved T36.

Energioptag pr. varmevekslerspiral

Energioptaget pr. varmevekslerspiral findes via temperaturforskellen imellem T37 og temperaturmåleren i returløbet i hver varmevekslerspiral (f.eks. T61) og flowet til hver enkelt varmevekslerspiral (f.eks. FM20).

Måleprogram for varmeproduktionen via varmepumpen

Det er muligt at undersøge effektiviteten af varmt brugsvandsproduktionen og rumvarmeproduktionen (såfremt denne er aktuel for den givne årstid) via varmepumperne. Interessant er det her at undersøge effektiviteten og dynamikken af varmepumpen, hvor varmen optages fra spildevandet. Det er derfor nødvendigt at koble energioptaget fra energibrøndene (de lodrette jordslanger) fra, varmevekslingen fra solvarmen fra og endvidere skal opvarmning af rampen kobles fra (alternativt skal der kompenseres for denne i beregningerne – af sikkerhedsmæssige årsager kan det være farligt at koble den fra). Herved vil varmevekslerspiralerne i spildevandsbrøndene være direkte koblet op på buffertanken som igen er koblet sammen med varmepumperne.

Energioptag i bufferen fra spildevandsbrøndene

Energioptaget fra spildevandsbrøndene kan beregnes ved at se på temperaturforskellen imellem T46 og T18 og flowet givet ved FM16. Dette energioptag kan sammenholdes med energioptaget fra hver enkelt brønd der hver har fremløbstemperaturen T46 en separat returtemperaturmåler pr. spildevandsbrønd (f.eks. T56) og en separat flowmåler (f.eks. FM25).

Effektivitet af varmepumperne

Varmemængden, der leveres af hver enkelt varmepumpe, kan findes via returtemperaturene til varmepumperne på det varme brugsvand og returtemperaturen for centralvarmen, henholdsvis T40 og T41. Disse sammenholdes med fremløbstemperaturen ud fra den pågældende varmepumpe og flowene for det varme brugsvand og centralvarmesystemet til den pågældende varmepumpe. F.eks. for VP1 dækker disse temperaturer over T2 og T3 for henholdsvis det varme brugsvand og centralvarmesystemet og flowene herfor måles over FM1 og FM6. Ved at sammenholde el-tilførslen til varmepumpen med varmeproduktionen er det muligt at beregne effektiviteten af hver enkelt varmepumpe. Endvidere kan varmetabet igennem varmepumpesystem beregnes. Dette gøres ved at sammenholde energitilførslen til varmepumperne (målt via temperaturforskellen imellem T44 og T43 og flowet ved FM15) og varmepumpens elforbrug med den faktiske varmeleverance efter varmepumperne.

Info om varmepumperne

Effektivitet: Der foreligger ikke dokumentation (testresultat) for varmepumpen (COP og relativ COP). Der kendes altså ikke til varmepumpens effektivitet ved fuld- samt delast ved forskellige temperaturtrin. Sammenligning med alternative varmekilder: Det er interessant at sammenligne varmepumpernes effektivitet og dynamik med alternative løsninger hvor varmepumper virker ifm. varmekilder med lignende temperaturniveauer. Denne sammenligning bør også inkludere eventuelle udfordringer systemet ved Havnehusene måtte møde (øget vedligehold, utilstrækkelig tilførsel af varmt spildevand til brøndene, andet.).

Styring: Varmepumperne kobles ind efter behov, således at de hver især primært kører i intervallet 40-80% last.

Måleprogram for effektiviteten af tilført energi til spildevandsbrøndene kontra optaget energi

Ved at sammenholde energitilgangen til spildevandsbrøndene med energioptaget i spiralerne kan det analyseres meget energi der "forsvinder" til omgivelserne.

Energitilgangen til spildevandsbrøndene

Der bliver som udgangspunkt ikke logget direkte på spildevandstilgangen til brøndene. Dog er det muligt at få viden om denne tilgang på to måder:

- > Inverterregulerede pumper bruges ikke, da startmomentet er stort. Derfor kræves on/off-styring. Den resulterende mængde spildevand, der pumpes i en periode, kan derfor findes via perioden, hvori pumpen er tændt. Pumpekarakteristik kan ofte findes via pumpeproducenten, men hvor meget, der pumpes, vil også afhænge af "hvad", der pumpes igennem pumpen (konsistens, indhold, etc.). Der er endvidere ikke en helt lineær sammenhæng imellem den pumpede mængde spildevand, og tiden pumpen er tændt da pumpen ved opstart, skal overvinde et startmoment. Såfremt data for pumpen ikke kan findes, kan der alternativt laves forsøg enten i laboratoriet eller ved havnehusene for at belyse flowet som funktion af logget elforbrug. En mulig tilgang for sidstnævnte forsøg, er at beregne volumen af spildevandsbrøndene med indhold og spildevandsspejlets højde måles. Efterfølgende kan det pumpede volumen som funktion af pumpetid beregnes.
- > Der kan logges på koldt- og varmtvandsforbruget i hver lejlighed og det samlede forbrug kan da relateres til den tilhørende spildevandsbrønd. Dette giver (med en mindre forsinkelse og en vis usikkerhed) spildevandstilgangen til brønden. Koldt- og varmtvandsforbruget bliver (Minol står for afregningen) logget med henblik på afregning, og derfor kan der opstå problemer med datakvalitet (høj nok opløsning) og GDPR. Det er et lovkrav, at der skal logges pr. døgn med henblik på fejlmelding (muliggør fejlmelding som f.eks. ledningsbrud).

Hvis flowet til brønden og temperaturen logges ned gennem brønden, kan man finde den tilførte energi til spildevandsbrønden. Hvis man sammenholder energien tilført spildevandsbrønden, med den igennem varmevekslerne optagne energi, fås et udtryk for, hvor effektivt den tilgængelige varme udnyttes. Disse beregninger kan laves f.eks. pr. døgn. En lav målt effektivitet vil ikke nødvendigvis være et udtryk for et ineffektivt system. Dette, da behovet for VBV og rumvarme varierer fra døgn til døgn og over året samtidig med at tilgangen af varme til spildevandsbrønden også varierer. Det vil altså at være nødvendigt at måle for en række perioder over hele året.

Test i sommermånederne

Såfremt målinger igangsættes om sommeren, vil rumvarmebehovet være lille og det varme brugsvandsforbrug være dominerende. Det vil dog være muligt via den direkte varmeveksling ifm. forvarmningen af det varme brugsvand at undersøge energioptaget i den øverste varmevekslerspiral. I denne periode er det muligt at koble rumvarmevekslerspiralen (den nedre varmeveksler) fra og blot se på energioptaget i varm brugsvandsvarmevekslerspiralen. Forvarmning af det varme brugsvand sker i to etaper. Først varmeveksler en væskekreds med

spildevandet i den øverste varmeveksler. Efterfølgende forvarmer denne væske-kreds brugsvandet. Denne væskekobling er pt. ikke et lovkrav da anvendelsen er til opvarmning af varmt brugsvand og ikke drikkevand. Det blev besluttet at det varme brugsvand ikke skulle varmeveksle direkte med spildevandet for ikke at løbe unødige risici. Det forventes at væskekoblingen også vil blive benyttet i fremtidige designs. Hvor vidt det er muligt at forvarme det varme brugsvand, vil afhænge af mængden og temperaturen af spildevandet, der tilføres brønden. Om direkte varmeveksling med det varme brugsvand er muligt, skal altså undersøges for hver installation.

Sampling rates og behandling af logget data

En høj sampling rate ønskes – gerne ned på minutriveau. Det er endvidere vigtigt med et præcist tidsstempel – helst ét, der er ens for samtlige opsamlede målinger.

Data logges af CTS-anlægget, som efterfølgende sendes til en SQL-database, hvor evt. beregninger af f.eks. energioptag foretages. Dette data sendes da tilbage til CTS-anlægget, hvor denne vises og logges. Dataet, der sendes til SQL databasen, kan efterfølgende også blive behandlet i Excel.

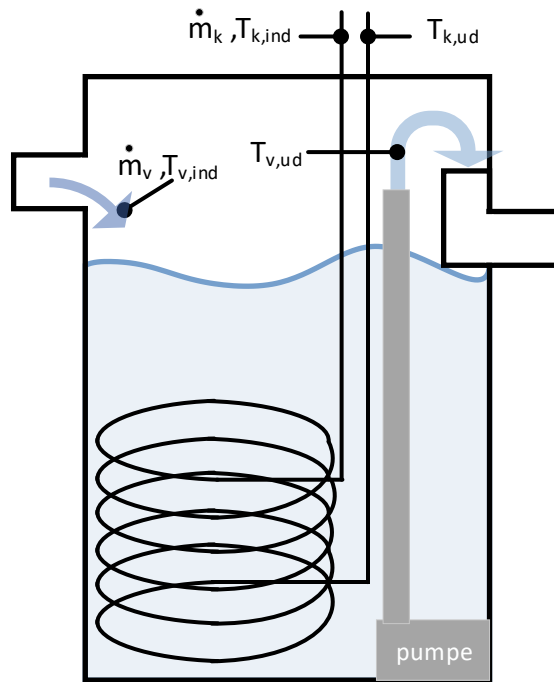
6.3.2 Måleprogram for Skovgårdsparken

På tidspunktet for slutrapportens udfærdigelse var det endnu uvist hvilke målepunkter, der ville have været for installationen ved Skovgårdsparken. Det udviklede måleprogram ifm. Havnehusene ville kunne bruges ifm. installationen ved Skovgårdsparken og lignende installationer.

6.4 Databehandling

I projektet ville effektiviteten af forskellige varmevekslere blive undersøgt og sammenlignet. Endvidere ville tilsmudsningen (foulingen) af varmevekslerens effekt på effektiviteten blive undersøgt over tid.

Varmeoverføringskoefficienten (U-værdien) er proportionalitetsfaktoren imellem varmefluxen og den termodynamiske drivkraft for varmeflowet (f.eks. temperaturdifferencen ΔT). Med andre ord definerer varmeoverføringskoefficienten den "lethed" hvormed varme passerer fra et medie til et andet. De to medier kan være adskilt af f.eks. en varmeveksler og i så fald vil varmeovergangen igennem bl.a. varmevekslerkappen være inkluderet i U-værdien. Da U-værdien dækker over den samlede "lethed" hvormed et givent system kan udveksle varme vil f.eks. tiltagende fouling af varmeveksleren også have indflydelse på U-værdien. For at undersøge effekten af tilsmudsningen (fouling) af varmeveksleren og for at sammenligne forskellige varmevekslerdesigns er det vigtigt med et valideret datagrundlag (se afsnit 6.3 for måleprogrammet). Nedenfor ses en simplificeret oversigtstegning af de nødvendige målinger for kunne foretage de efterfølgende beregninger.



Figur 19: Forsimplet oversigtstegning der viser hvilke målinger der foretages ifm. varmegenvindingen fra spildevandsbrønden

Undersøgelse af tilsmudsning af varmeveksleren

Ifm. varmeveksling med spildevand vil varmeoverføringskoefficienten for varmevekslingen blive påvirket af fouling, se yderligere beskrivelse i afsnit 6.5. Dette sker, da f.eks. fedtstof har et lavere varmeovergangstal end stål og derfor vil virke "isolerende". Tiltagende fouling af varmeveksleren vil altså reducere effektiviteten af varmeovergangen. Ved at plote ændringen i varmeoverføringskoefficienten over tid ses effekten af foulingen på varmeveksleren. Når hastigheden, hvormed fouling opbygges, kendes sammen med effekten deraf, vil det være muligt at vurdere hvor ofte spildevandsbrønden skal renses. Denne vurdering kan bl.a. bero på omkostningerne ved at foretage rensning af brønden holdt op en mere effektiv varmeveksling med spildevandet og dermed en reduktion i elforbruget.

For at finde varmeoverføringskoefficienten skal effektoptaget for energi tilført til brønden først findes. Alternativt kan energioptaget i væskekredsen findes. Dette gøres ved hjælp af en simplificeret steady-flow formel for den tilførte termiske energi.

Effekttilførslen til brønden findes via følgende formel:

$$q = \dot{m}_v c_p (T_{v,ind} - T_{v,ud})$$

Hvor:

\dot{m}_v er masseflowet af spildevand til brønden

c_p er den specifikke varmekapacitet for spildevandet

$T_{v,ind}$ er temperaturen af spildevandet tilført spildevandsbrønden

$T_{v,ud}$ er temperaturen af spildevandet når det forlader spildevandsbrønden

Effektoptaget i varmeveksleren findes via følgende formel:

$$q = \dot{m}_k c_p (T_{k,ind} - T_{k,ud})$$

Hvor:

\dot{m}_k er masseflowet i varmeveksleren

c_p er den specifikke varmekapacitet af det varmebærende medie i varmeveksleren

$T_{k,ind}$ er temperaturen af det varmebærende medie ind i varmeveksleren

$T_{k,ud}$ er temperaturen af det varmebærende medie ud af varmeveksleren

Den mest valide flowmåling forventes at forefindes for det varmebærende medie i varmeveksleren. Derfor antages det også, at effektflowet bedst findes via det varmebærende medie i varmeveksleren.

For at finde varmeoverføringskoefficienten (U-værdien) benyttes følgende sammenhængen imellem effektoptaget, UA-værdien for varmeveksleren og temperaturerne for de varmevekslende medier:

$$q = UA \Delta T_{lm}$$

Hvor

q er varmeoverførselsraten

A er arealet af det varmeoverførende areal

ΔT_{lm} er den logaritmiske middeltemperaturforskel

Hvor

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

Hvor

$\begin{bmatrix} \Delta T_1 = T_{v,ind} - T_{k,ind} \\ \Delta T_2 = T_{v,ud} - T_{k,ud} \end{bmatrix}$ for varmeveksling i medstrøm

$\begin{bmatrix} \Delta T_1 = T_{v,ind} - T_{k,ud} \\ \Delta T_2 = T_{v,ud} - T_{k,ind} \end{bmatrix}$ for varmeveksling i modstrøm

Og

$T_{v,ind}$ er temperaturen af det varme vand ind i varmeveksleren

$T_{v,ud}$ er temperaturen af det varme vand ud af varmeveksleren

$T_{k,ind}$ er temperaturen af det kolde vand ind i varmeveksleren

$T_{k,ud}$ er temperaturen af det kolde vand ud af varmeveksleren

Da U vil være den eneste ubekendte, kan vi altså plote denne over tid.

Sammenligning af forskellige varmevekslerdesigns

Sammenligning af energieffektiviteten for to forskellige varmevekslersystemer, der er begrænset af samme fysiske rammer (tilgængelig plads i f.eks. en spildevandsbrønd) kan gøres ved at sammenligne varmevekslingens NTU-værdi (Number of Transfer Units). Det er da muligt at holde de økonomiske omkostninger op imod effektiviteten af veksler designet og vælge den bedste løsning. NTU findes via følgende formel:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

Hvor

U er varmeoverførselskoefficienten

A er arealet af det varmeoverførende areal

C_{min} er den mindste af C_h eller C_c som er henholdsvis den varme eller kolde varmekapacitetsraten.

Hvor

$$C_h = \dot{m}_v c_{p,v}$$

$$C_c = \dot{m}_k c_{p,k}$$

\dot{m}_v er masseflowet af den varme strøm
 \dot{m}_k er masseflowet af den kolde strøm
 $c_{p,v}$ er den specifikke varmekapacitet for det varme flow
 $c_{p,k}$ er den specifikke varmekapacitet for det kolde flow

6.5 Anti-fouling strategier

For at sikre en god varmeovergang imellem spildevandet og varmeoptagersystemet er det vigtigt at reducere uorganiske, organiske samt mineralske aflejringer.

I forbindelse med udviklingen af varmevekslersystemer til de typer af opsamlingsbrønde, som har været i betragtning i både fase 1 og 1b af dette projekt, er foretaget en gennemgang af litteraturen med henblik på at kortlægge strategier til rensning af varmevekslere, som opererer med spildevand. Litteraturgennemgangen er foretaget indenfor rammerne af åbne kilder, hvorfor gennemgangen ikke kan siges at være fuldstændig udfyldende. Omvendt, så tyder de åbne kilder, som er gennemgået på, at det meste af den relevante litteratur faktisk er tilgængeligt på nettet. Dette giver god mening, da de fleste studier er projekter finansieret af nationale eller regionale offentlige midler med de medfølgende krav om offentlighed. Blandt de europæiske kilder er der en overvægt af studier foretaget i enten Tyskland eller Schweiz, hvor de fleste rapporter forfattet på tysk og færre på engelsk.

Fokus på kortlægning af rensningsstrategier og -systemer blev valgt i håb om at vi kunne finde allerede udviklede selvrensende systemer, eller i det mindste finde inspiration til design af sådanne. Det viste sig imidlertid, at litteraturen næste udelukkende beskriver rensningsmetoder, der periodisk tages i anvendelse, når flow og/eller effektiviteten af varmeveksleren kan måles at være suboptimal. Som sådan er der derfor ikke tale om deciderede selvrensende metoder, selvom nogle af metoderne godt kunne implementeres som automatiske processer.

De fleste rensningsmetoder kan kategoriseres som enten **aktive**, hvor smudsaflejringer på vekslerflader fjernes ved en aktiv proces eller **passive** altså metoder, hvor smudsaflejring per design ikke eller i lille grad finder sted, eller hvor smudsaflejringen per design finder sted udenfor veksleren. Alternativt at man dimensionerer veksleren efter et lavere overgangstal.

7 Afslutning

7.1 Konklusion

På trods af sparsomme måleresultater fra projektets prototyper, vurderer projektgruppen på baggrund af dette projekt, at der stadig er et stort potentiale for genvinding af varme fra spildevand. Der er opnået nogle værdifulde erfaringer, som danner grundlag for det videre arbejde med at udvikle løsninger til formålet. Det er vigtigt at tage højde for forudsætninger og anvendelsesområde, og konceptet kan være særdeles lovende under de rette omstændigheder.

Følgende erfaringspunkter ønskes videreformidlet:

- > Spildevandstemperaturen bør være høj og have et stabilt flow. Dette kan opnås ved kobling til system med flere rørledninger, der betjener flere boligblokke.
- > Der bør sigtes efter så kort en afstand fra varmekilde til veksler, som muligt, så unødigt varmetab til jorden undgås. Opmærksomhed på, at temperaturen svinger meget hen over året.
- > Hvis der er solcelle strøm i overskud, er det fornuftigt at benytte strømmen til varmepumpen, gerne sammen med et batteri således, at solstrømmen også kan benyttes om aftenen.
- > Vi har ikke mødt forhold, som taler i mod at arbejde videre med udbredelsen af løsninger, der genvinder varmen i spildevandet. Men genvindingsanlæg bør udføres så enkelt som muligt dvs. som et separat anlæg, der kan udnyttes uden at være en integreret del i et jordvarmeanlæg / solvarmeanlæg, som kan gøre systemet unødigt kompliceret at styre og drifte.
- > Foulingeffekten bør undersøges ved langtidsdrift, da den antages at have en vis indflydelse på varmevekslerens effektivitet

7.2 Markedspotentialet er intakt

Der bør arbejdes videre med løsninger til genvinding af varme fra spildevand, fordi potentialet for energibesparelser er stort. Bygningsmassen tegner sig som et af de største energiforbrug 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. 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

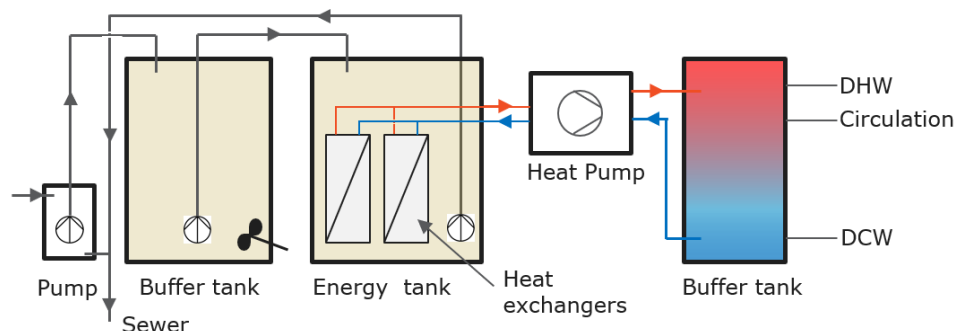
anlæg. Markedet er således meget interessant og retfærdiggør at løsninger udvikles. Samtidigt er potentialet på EU-niveau er enormt, idet etagebyggeri er udbredt i alle lande og en relativ stor del af disse bygninger er uden fjernvarmeforsyning.

7.3 Designforbedringer

I projektet nåede vi ikke at få erfaringer med langtidsdrift, men der er høstet viden til at kunne designe anlæg bedre, f.eks.:

- > at øverste del eller forkammer til vekslerbrønd kan udformes som en fedt-udskiller, som kan tømmes ved lejlighedsvis at lade vandspejlet stige til et naturligt overløb
- > at det varmeoverførende areal skal dimensioneres, så der tages højde for en vis tilsmudsning, der kan opstå med tiden
- > at man kan begrænse belægninger ved omrøring og indbygget mulighed for at kunne spule veksleren med varmt vand uden at skulle gå ned i brønden
- > at vandstrømmen, som der genvindes på, helst skal være fra flere boligblokke, så flowet er stort for at begrænse temperaturfaldet frem til varmeveksleren
- > at spildevandspumper skal være 400V med stort startmoment og med stor rørdiameter
- > at man kan etablere et kammer eller rist omkring pumpen, så den friholdes fra vådservietter, som så må tømmes ud med en slamsuger fra tid til anden

Et eksempel på en anlægsopbygning, der tager højde for ovenstående, er vist i Figur 20 og som planlægges installeret i en boligafdeling i Växjö, Sverige i et projekt, hvor COWI deltager. Projektgruppen (Teknologisk Institut og COWI) arbejder dermed videre med konceptet, men med flere forskellige anlægsopbygninger, som er på forskellige udviklingsstadier.



Figur 20: Skitse af installation til varmegenvinding fra spildevand i større skala, dvs. flerfamiliehuse som skal afprøves i Växjö. Kilde: COWI.

8 Formidling

I projektperioden har formidlingen af projektets indhold været begrænset pga. den manglende fremkomst af målbare resultater. Projektet har dog været omtalt i ELFORSK's udgivelse "Varmepumper – Hjertet i det intelligente energisystem" fra 2016, se Figur 21.

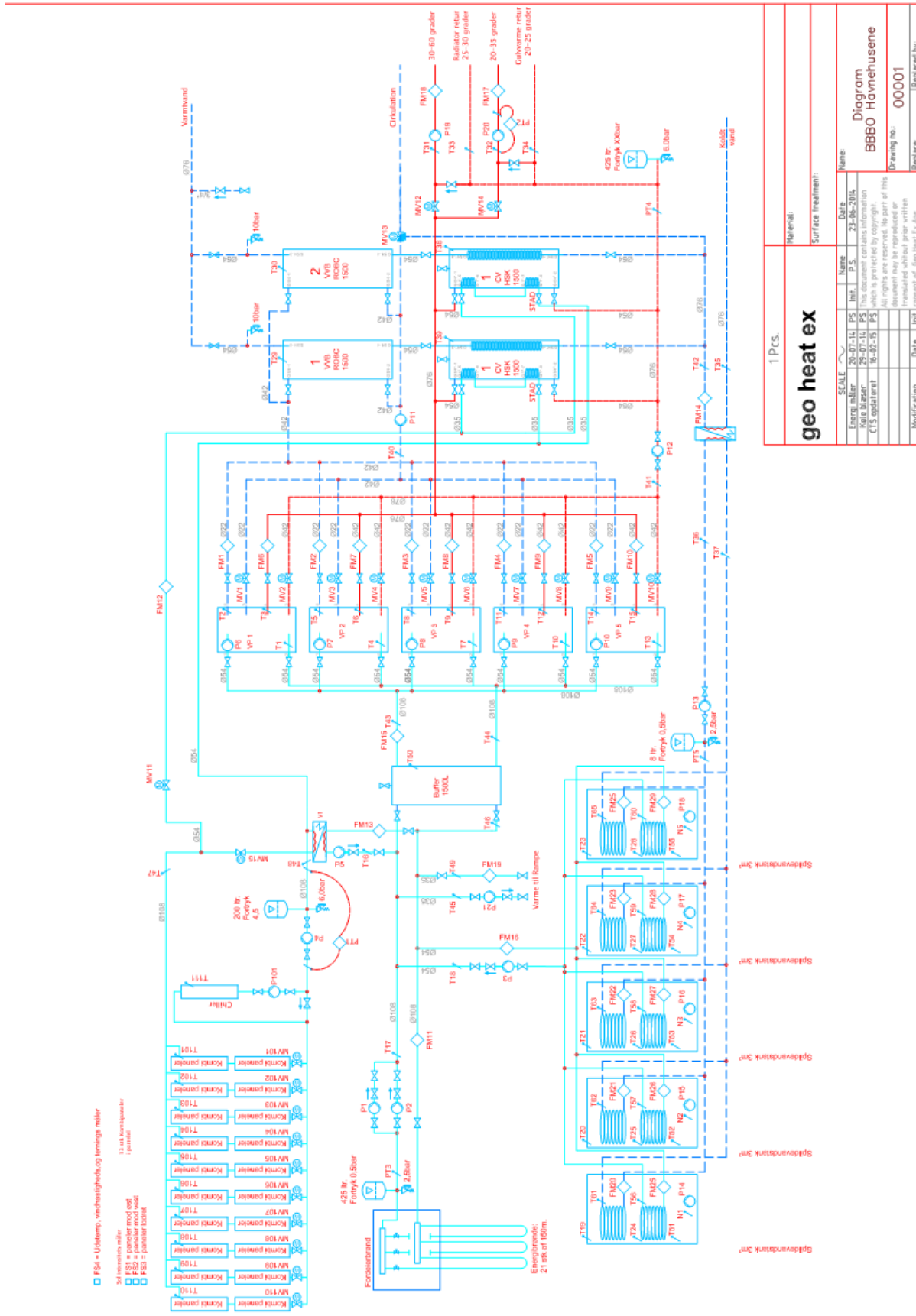
Efter projektets afslutning vil projektgruppen arbejde på følgende formidling:

- > Kort artikel til indsendelse til HVAC-magasinet og evt. ELFORSK.dk
- > Information om projektet på COWIs hjemmeside
- > Deltagelse med indlæg på ELFORSK's Inspirationsmøde



Figur 21: Indlæg i ELFORSK-udgivelse "Varmepumper – Hjertet i det intelligente energisystem", 2016.

Bilag A – PI-diagram



1 Pcs.		Material:	
Surface treatment:		Name:	
SCALE	Name	Date	Date
20-07-14	PS	23-06-2014	
25-07-14	PS		
18-02-15	PS		
Energi måler Rada banner (1.3 apartment)			
This document contains information which is protected by copyright of this document may be reproduced or transmitted without prior written consent of Geo Heat Ex Aps			
Modification	Date	Int.	Replaced by:
geo heat ex		Diagram BBBO Høvnhusene	
		Drawing no. 00001	
		Replaces:	