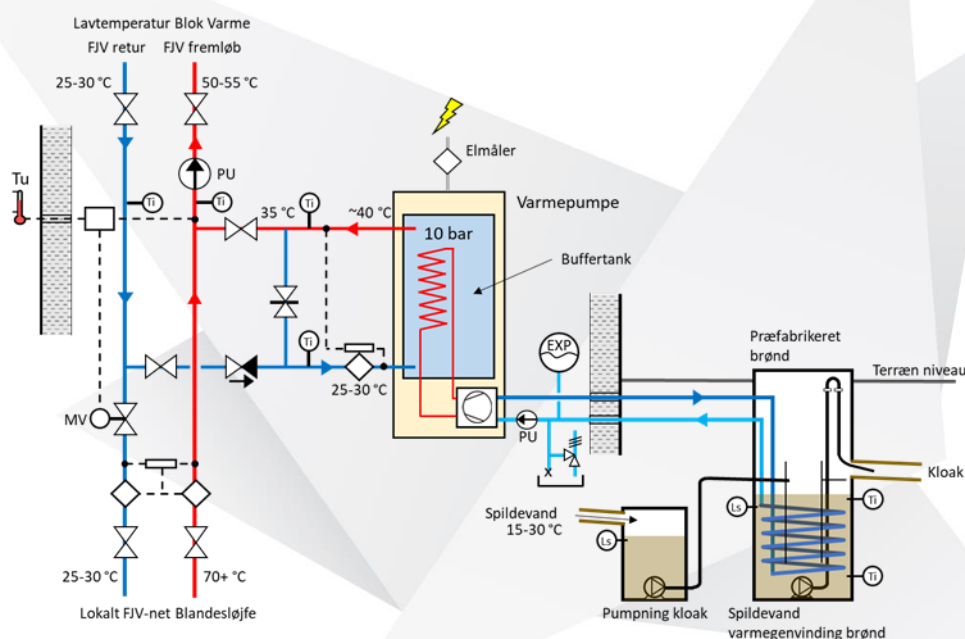


# Spildevands-varmepumper

Genvinding af varme i spildevand i kombination med varmepumper – Målinger og anvisninger

SLUTRAPPORT





MARTS 2022  
ELFORSK PROJEKT 352-024

# Spildevands-varmepumper

Genvinding af varme i spildevand i  
kombination med varmepumper –  
Målinger og anvisninger

SLUTRAPPORT

PROJEKTNR.

A129795

DOKUMENTNR.

001

VERSION

01

UDGIVELSESDATO

01.03.2022

BESKRIVELSE

Slutrapport

UDARBEJDET

EMZI/SEM/RMH  
Steen Hartvig

KONTROLLERET

RMH/ANS

GODKENDT

SEM



<b>1</b>	<b>Indhold</b>	
1	Indhold	5
2	Projektdeltagere	7
3	Formål	8
4	Sammenfatning/Resumé	9
5	English summary	11
6	Baggrund	12
7	Anlægskoncepter	14
8	Demoanlæg og monitorering	16
8.1	Stengården Afd. 8, Ølstykke	16
8.2	Rydevænget	19
8.3	Trigeparken	24
8.4	Alabastern	33
9	Kommentarer/sammenligning	38
9.1	Økonomisk analyse vedr. de evaluerede koncepter	38
10	Teknisk sammenfatning - anvisninger	47
10.1	BF Ringgården – Afdeling 21 - Rydevænget	47
10.2	BF Ringgården – Afdeling 20 - Trigeparken	51
10.3	Växjöbostäder AB - Alabastern	55
11	Potentiale og marked	59
11.1	Klimapolitisk potentiale:	59
11.2	Energi- og boligpolitisk potentiale:	59
12	Formidling	61
13	Markedsudviklingsstrategi	62
14	Appendiks	65
14.1	Artikel i ELFORSK nyt	65
14.2	METRO THERM – Microbooster - Datablad	68

14.3	METRO THERM – METROSAVER MB F - Datablad	69
14.4	GRUNDFOS – Spildevandsbrønd - Datablad	72

## 2 Projektdeltagere

**Projektleder:**

COWI A/S

Adresse: Parallelvej 2, 2800 Kgs. Lyngby

Kontaktpersoner: Svend Erik Mikkelsen / Reto Hummels-  
høj

E-mail: [SEM@cowi.com](mailto:SEM@cowi.com) / [rmh@cowi.com](mailto:rmh@cowi.com)

Tlf. : 56400000

**Projektdeltagere**

METRO THERM A/S

KAB

Stengården, af. 8 under Stenløse-Ølstykke Boligforening

Kommunikationsbureauet Rubrik

Boligforeningen Ringgården

**Disclaimer**

ELFORSK og projektets deltagere tager ikke ansvar for den videre brug af de i projektet beskrevne resultater.

### 3 Formål

Formålet med projektet er at tilvejebringe erfaringer og design guidelines for udnyttelse af varme fra spildevand i kombination med varmepumper, baseret på erfaringer med fysiske udviklings- og demonstrationsanlæg.

COWI har været involveret i en række projekter for at afdække potentialet med udnyttelse af spildevand. Erfaringerne herfra peger på, at flere typer af løsninger ser lovende ud. I nærværende projekt måles på aktuelle anlæg, hvorved projektet skaber en realistisk erfaringsopsamling fra demonstrationsanlæg, som mangler i de tidligere udførte projekter.

Erfaringerne peger på god designpraksis og på, hvordan fremtidige anlæg kan optimeres teknisk og økonomisk.



## 4 Sammenfatning/Resumé

En stor mængde varme skylles ud med spildevandet. I nyere boliger udgør forbruget til opvarmning af brugsvand op imod 40% af boligens varmeforbrug. En effektiv genvinding af en del af denne varme udgør derfor et stort potentiale til reduktion af varmeforbruget i boliger. Potentialet er dokumenteret og eftervist, men i praksis ikke udnyttet på grund af en række barrierer såsom mangel på dokumenterede referenceanlæg, dimensioneringsviden og anlægsomkostninger.

Projektet viser, at dette potentiale kan udnyttes igennem en kombination af særlige varmevekslere og varmepumper. Spildevandet udgør et supplement eller et alternativ til traditionelle varmekilder til varmepumper og medvirker til, at varmepumper kan bruges flere steder og køre med højere effektivitet.

Løsningen egner sig til større boligejendomme, etageboliger eller tæt/lavt byggeri med fælles kloaksystem. Der er både analyseret på anlæg, der kun leverer varmt brugsvand, og anlæg, der også leverer til rumvarme. Projektet fokuserer på renovering af boligblokke, hvor varmepumper kan levere en del af varmebehovet. Varmepumperne udnytter varme fra det sorte spildevand, før det ledes videre i afløbssystemet. Der er således ikke brug for separation af gråt spildevand.

Løsningerne bidrager til at øge elektrificeringen af bygningernes energiforbrug og muliggør brug af varmepumper med en højere energieffektivitet (COP), da spildevandets temperatur er uafhængig af vejret og for det meste højere end udeluftens temperatur og jordtemperaturen - og i modsætning til jordvarmeanlæg skal varmekilden ikke regenereres om sommeren. Varmepumperne kan med fordel udnytte billig solcellestrøm fra bygningerne, som ofte er i overskud i sommerhalvåret. Dette kan gøre det mere attraktivt at installere denne type varmepumpe især i gas- og oliefyrede ejendomme; men også i fjernvarmeforsyede områder afhængig af tarifstruktur og prisniveau.

Projektet viser, at denne type varmepumpe kan opnå en COP på over 4, og at der er potentiale for at kunne reducere anlægsomkostningerne. Læringskurven viser en klar nedadgående tendens på pris i takt med, at tilbudsgivere bliver mere fortrolige med teknologien, og i takt med, at mere standardiserede løsninger bliver udbredt.

Kombinationen med attraktiv finansiering, som gælder for forbedringsprojekter i den almene boligsektor, og brug af afgiftsfri elproduktion fra boligafdelingernes egne solcelleanlæg om sommeren betyder, at der må forventes en fordelagtig rentabilitet for beboerne ved denne type grøn omstilling. Projektgruppen forventer derfor, at genvinding af varme fra spildevand vil finde indpas i såvel nybyggeri som ved renovering af boligbebyggelser som supplement til anden varmeforsyning.

Driften i projekterne har været uproblematisk og robust uden nedbrud. Projektet viser dog også, at der er behov for en omhyggelig indregulering af varmepumpe og flow i forbindelse med aflevering og indkøring, ligesom der skal være en overvågning, som giver automatisk alarm på telefon hos den driftsansvarlige,

som kan fortage manuelt reset, når varmepumpen lejlighedsvis falder ud på grund af driftsalarm. Herved sikres kontinuert drift.

Teknologien er relevant ved såvel nybyggeri som i forbindelse med renovering af boligbebyggelser med fælles varmecentral. Målgruppen for projektet er byggebranchen i bred forstand, rådgivere, boligorganisationer, projektudviklere mv.

## 5 English summary

Large amounts of heat are flushed out with the wastewater. In newer well insulated homes, consumption for heating domestic hot water is up to 40% of the buildings heat consumption. This amount of energy is usually just lost in the sewer. An effective recovery of this part of heat therefore represents a great potential for reducing the heat consumption in buildings. The potential is documented and demonstrated, but in practice not exploited due to several barriers such as lack of references and design rules as well as cost.

The project shows that the potential can be exploited by use of special heat exchanger systems and heat pumps. The wastewater is a supplement or alternative to traditional heat sources for heat pumps, resulting in exploitation of more heat pumps and operation with higher efficiency.

The focus is on larger residential housing like multifamily housing and terraced housing with a common sewer system. We have analysed plants that supply only hot water as well as plants that also supply space heating.

The technology is relevant in both new construction and in connection with renovation. This project has focused on tests of heat pumps that are integrated into the energy supply of renovated buildings to cover part of the heat demand. The heat pumps are used to recover heat from the building's wastewater on the way to the sewer system. In this way, the solutions contribute to increase the electrification of the total energy consumption of buildings. The potential high efficiency of the heat pump (COP) and surplus power from PV panels on the buildings during summer makes it more attractive to install such heat pumps, as an alternative to oil and natural gas boilers, and as well in district heating supplied areas.

The project shows that the heat pumps can operate efficiently with COP's of above 4, and that costs reductions are possible. The learning curve shows a clear trend towards lower cost as bidders get more use to the technology and more standardized solutions are introduced. Combined with attractive financing sources and utilization of PV power during summer, the systems can be justified economically, especially in connection with upgrading of social housing and as well in connection with new buildings.

The project also shows the need of professional adjustments and commissioning during start-up, continuous surveillance service with phone notifications and a caretaker to reset heat pump alarms when occasionally needed to ensure continuous operation. Otherwise, the operation has been trouble-free and robust with no breakdowns.

The target group for the project is the construction industry, consultants, housing organizations and project developers.

## 6 Baggrund

Bygningsmassen tegner sig for et af de største energiforbrug i samfundet, idet mellem 30% og 40% af Danmarks samlede energiforbrug anvendes her. I alt bruges ca. 160 PJ/år til opvarmning af bygninger. Ca. 20% af bygningsmassen og 21% af energiforbruget kan henføres til 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. 5% af etageboliger umiddelbart vil kunne installere varmegenvindingssystemet, vil der alene i Danmark kunne installeres ca. 5.000 anlæg. Markedet er således interessant og med tilstrækkelige incitamentter til, at der kan udvikles kommercielle løsninger. Samtidigt er potentialet på EU-niveau selv sagt meget større, idet etagebyggeri er udbredt i alle lande, og en relativt stor del af disse bygninger er uden fjernvarmeforsyning.

Det er projektgruppens vurdering, at en kommercialisering af det udviklede og testede koncept for genvinding af varme fra spildevand kan give et markant bidrag til at realisere det klimapolitiske mål om at reducere Danmarks udledning af drivhusgasser med 70% i perioden 1990-2030. Det vil formentlig være både samfundsøkonomisk og beboerøkonomisk attraktivt at gennemføre i sammenligning med andre teknologier til energieffektivisering af bygninger, og CO<sub>2</sub>-reduktionsprisen vurderes hurtigt at blive attraktiv i forhold til andre alternative initiativer.

Genvinding af overskudsvarme fra spildevand vil også bidrage til at gøre boligbebyggelser proaktive i udvikling af energieffektive og klimavenlige energisystemer. EU's kommende bygningsdirektiv vil stille store krav til bygningernes evne til at spille dynamisk og effektivt sammen med de overordnede forsyningssystemer for el, varme og køling. Selv om de to demonstrerede tekniske løsninger på kort sigt kan blive beboerøkonomisk udfordrede af relativt lave varmepriser i de største danske fjernvarmesystemer, ventes de regulatoriske rammevilkår i de kommende år at stille så vidtgående krav til energieffektivitet og dynamisk samspil med energisystemerne, at det bliver attraktivt for bygningsejere at udnytte disse innovative løsninger.

Hertil kommer, at der frem til 2026 stilles nye krav til mere effektiv drift af de almene boligafdelinger. Samlet skal den almene boligsektor i perioden 2021-2026 effektivisere de årlige driftsudgifter i boligafdelinger og boligorganisationer med mindst 1,8 mia. Kr. I den nye effektiviseringsaftale mellem regeringen, KL - Kommunernes Landsforening, og BL - Danmarks almene Boliger er der specifikt peget på potentialet i at effektivisere energiforbruget i de almene boligafdelinger.

Beregninger af potentialet i grønne helhedsplaner fra Landsbyggefondens venteliste viser, at der mindst bør kunne energieffektiviseres for mindst 300 mio. kr. Projekter for genvinding af overskudsvarme fra spildevand vil i denne sammenhæng være særligt attraktive for boligorganisationerne, fordi varmebesparelsen

fra sådanne projekter vil aflaste behovet for andre initiativer, der kan være mere udfordrende for udvikling af god beboerservice i boligafdelingerne.

De afprøvede tekniske løsninger kan også blive vigtige bidrag til at sikre fremtidens grønne fjernvarmeforsyning. De klimapolitiske aftaler lægger et betydeligt pres på fjernvarmeselskaberne, der efter de politiske anvisninger skal integrere alle de naturgas- og olieopvarmede bygninger, der er placeret i eksisterende eller planlagte fjernvarmeområder. Men samtidig betyder den grønne affaldsaftale fra 2020, at mængden af forbrændingsegnet affald skal reduceres med mindst 30% frem til 2030. Samtidig har der vist sig en voksende politisk skepsis over for den store anvendelse af biomasse i fjernvarmeforsyningen. En større effektivitet hos slutbrugerne af fjernvarme kan bidrage til at håndtere disse udfordringer, og her er genvinding af overskudsvarme fra spildevandet en oplagt mulighed.

Partnerne har forud for projektansøgningen gennemført et litteraturstudie om udnyttelse af spildevand i varmepumper, som viser, at erfaringerne og projekter fra udlandet ofte omfatter forholdsvis komplicerede koncepter, som primært vedrører store anlæg eller udnyttelse af energi fra centrale spildevandsledninger. Dette kan fortsat ske parallelt med udviklingen af de decentrale løsninger, som samlet set kan øge effektiviteten, idet spildevandet er varmere nær kilden.

I IEA og EU-projekter er der udarbejdet kataloger over løsninger og demonstrationsanlæg, men ikke om modulbaserede løsninger, svarende til de løsninger der beskrives her.

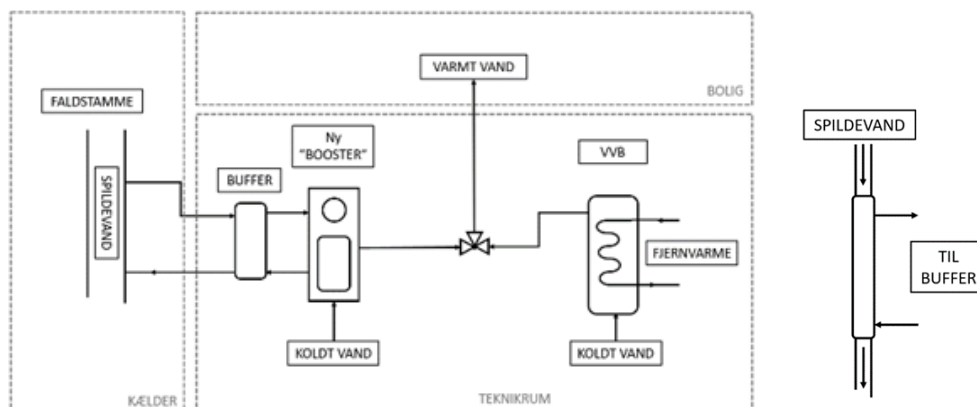
## 7 Anlægskoncepter

Figur 1-3 viser forskellige koncepter til udnyttelse af spildevand til varmepumpeanlæg, der er projekteret til 4 eksisterende boligbebyggelser og derved giver en realistisk demonstration og erfaringsopsamling under længere tids drift. De konfigurationer, der er præsenteret nedenfor, er optimeret og tilpasset de enkelte projekters behov. I det følgende beskrives de tre koncepter, der er udviklet til projekterne, og hvilke justeringer, der blev udført for at kunne realisere projekterne, mens afsnit 8 præsenterer detaljer i de etablerede anlæg.

Figur 1 viser princip for et spildevands varmepumpeanlæg, hvor varmeoptagere er etableret i den nederste del af faldstammer i en etageejendom. Et stykke af faldstammen erstattes med et rør i samme dimension som røret, men med en kappevarmeveksler, der er koblet til en bufferbeholder. Bufferbeholderen er koblet til en METRO THERM Microbooster varmepumpe, der producerer varmt brugsvand i den indbyggede beholder.

Det producerede varme vand ledes til stigestrengen efter at have passeret en termostatisk blandeventil, der sikrer den ønskede temperatur ved opblanding med varmt brugsvand, der er produceret med fjernvarme i varmecentralen. Fjernvarmeveksleren udgør den vigtigste del af forsyningen, mens varmepumpeanlægget leverer en del af det samlede varmtvandsforbrug.

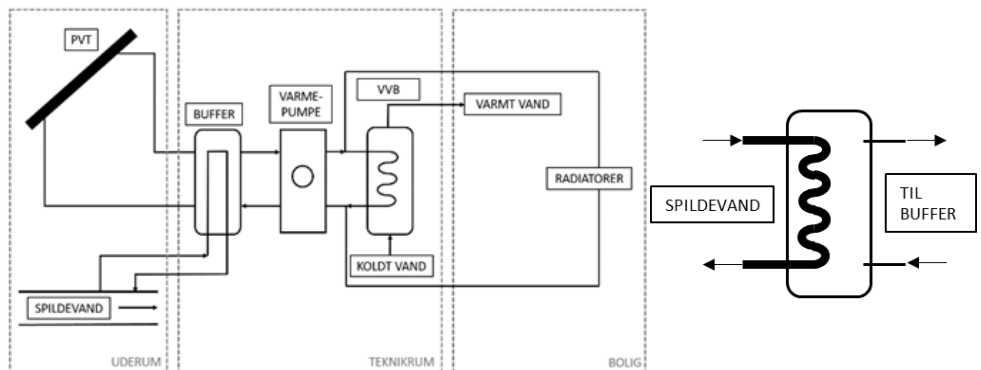
Denne type anlæg er velegnet til boligblokke i flere etager, hvor man udnytter et antal faldstammer og placerer varmepumper i underetagen/kælderen. Konceptet er udviklet og demonstreret i Boligforeningen Ringgårdsens boligafdeling Rydevænget i Aarhus. Systemet er installeret i en 5-etagers bygning, hvor to faldstammer hver er udstyret med en nyudviklet kappevarmeveksler, som er koblet til en Microbooster, der forsyner 6 lejligheder med varmt brugsvand.



Figur 1. Principdiagram af varmepumpeanlæg med kappevarmeveksler til venstre og princip for kappevarmeveksler til højre.

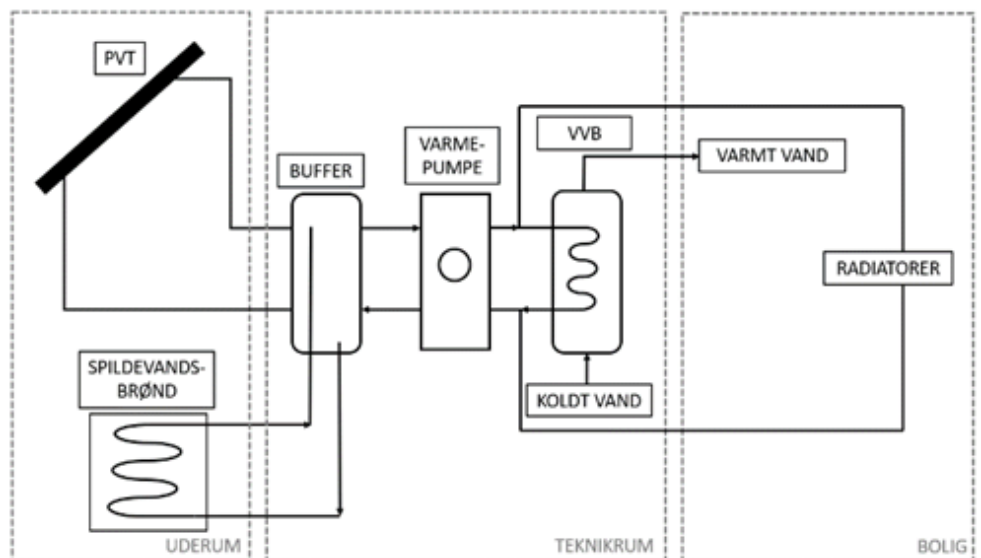
Figur 2 viser principdiagram for et anlæg, hvor spildevand pumpes indvendigt igennem en stor spiral placeret i en beholder, som varmer vand eller brine. Beholderen er koblet til en varmepumpe, der bruger varmen fra spildevandet som varmekilde. Figur 2 viser, at spildevand som varmekilde kan benyttes sammen med andre varmekilder, som f.eks. varme fra et PVT-anlæg (kombineret solcelle

og solfanger), der kan levere varme til bufferen og el til varmepumpen. Denne kobling var tiltænkt projektet på Stengården afd. 8 som beskrevet i afsnit 8.1.



Figur 2. Principdiagram af et varmepumpeanlæg med bufferbeholder opvarmet af spildevand og PVT-anlæg til venstre og bufferbeholder-systemet vist til højre, hvor spildevandet kan pumpes gennem spiralen, der er 100 mm i diameter.

Figur 3 viser en alternativ udformning, hvor varmen til varmepumpen hentes fra en ny spildevandsbrønd, hvori der er placeret en varmeveksler koblet til varmepumpen. Som vist i nedenstående figur kan dette også integreres med forskellige varmekilder, f.eks. hvor et PVT-anlæg (kombineret solcelle og solfanger) leverer supplerende varme og el til varmepumpen. I de undersøgte systemer er varmeveksleren i brønden koblet direkte til varmepumpen for begge projekter i Trigeparken i Aarhus og i Alabastern i Växjö. Begge steder er der selvstændige PVT-anlæg med egen varmepumpe, dvs. at bufferbeholderen på den kolde side af varmepumpen kan undværes.



Figur 3. Anlægsconfiguration med varmeoptager placeret i spildevandsbrønd.



## 8 Demoanlæg og monitorering

### 8.1 Stengården Afd. 8, Ølstykke

Stengården afdeling 8 er en del af Stenløse-Ølstykke Boligforening (Figur 4). Det er en almen boligafdeling med 43 tætplacerede 1-etages boliger, hvor der var planlagt PVT anlæg i forbindelse med en tagreovering og afskaffelse af udtjente individuelle gasfyr. I processen blev supplerende udnyttelse af spildevand taget med i renoveringsprojektet som en demonstration, som præsenteret i Figur 2.



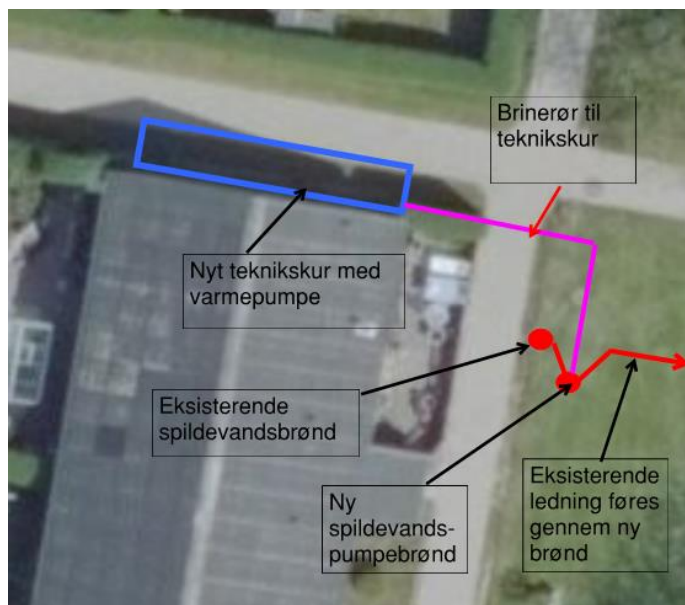
Figur 4. Bebyggelsen Stengården Afd. 8 i Ølstykke

(Kilde: <https://sob.dk/afdelinger/%C3%B8lstykke/steng%C3%A5rden-afd-8>)

#### 8.1.1 Anlægsbeskrivelse

Projektet omfatter etablering af et PVT- og varmepumpeanlæg i hver blok til erstatning af de individuelle gasfyr i bebyggelsen. Et teknikskur i gavlen af hver blok skulle rumme de nye installationer og levere varme og el til boligerne. Udover den generelle løsning med PVT-anlæg var det også tænkt at bruge spildevand som varmekilde til varmepumpen for en af blokkene. To forskellige løsninger blev overvejet: Den første med en buffertank med en indbygget spiral, hvor spildevand kan pumpes igennem, og det andet med en varmeveksler placeret i en spildevandsbrønd. Som vist i Figur 5 skulle en ny spildevandspumpebrønd, ca. 3 m dyb, etableres i begge løsninger.



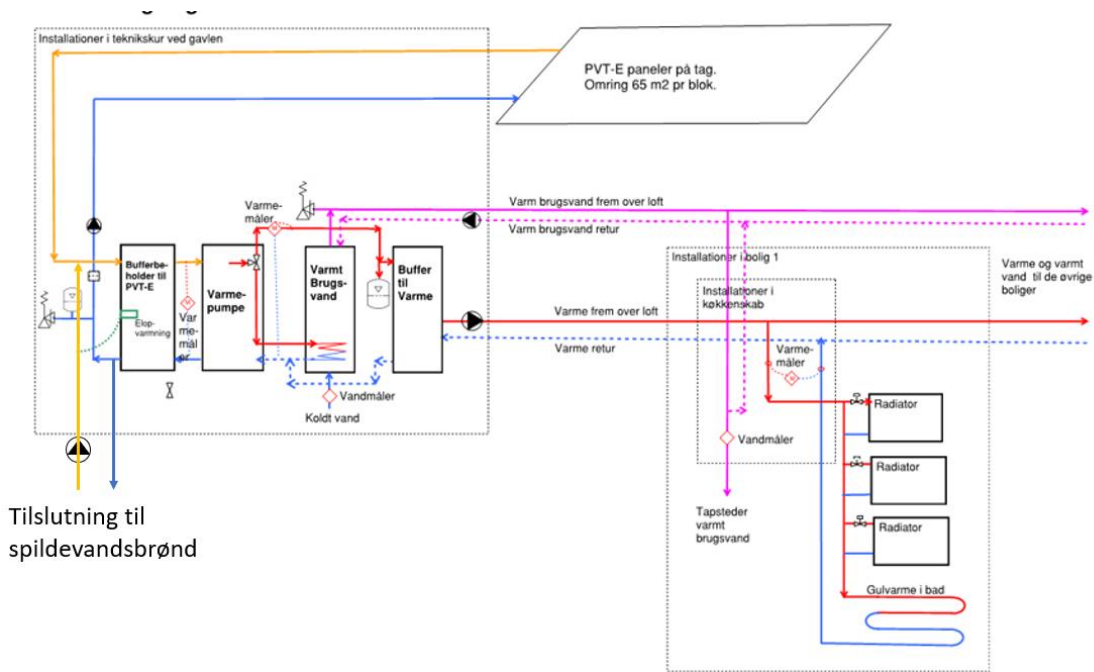


Figur 5. Oversigt over placering af den nye spildevandsbrønd i Stengården afd. 8

Den første løsning blev projekteret med en Ecowecs-beholder (<https://www.ecowec.com/>), der skulle placeres i det teknikskur, der var placeret tættest på den nye planlagte spildevandsbrønd. Ecowecs-beholderen, som er en buffertank med indbygget spildevandsspiral, hvor spildevandet kan pumpes igennem, var tiltænkt til at erstatte PVT-anlæggets buffertank, hvortil både PVT-anlæg og varmepumpe skulle kobles. Løsningen viste sig at blive for dyr ift. vekslerydelsen med en komponent pris for beholderen på 22.000 EUR (163.700 DKK ekskl. moms), hertil kommer rørarbejder, installation og en spildevands-pumpebrønd.

Den anden løsning, som er den samme, som er præsenteret i afsnit 0, er med en varmevekslerspiral neddykket i spildevandsbrønden. Spildevandet fra den eksisterende kloakledning føres til den nye vekslerbrønd, og en kloakpumpe pumper vandet tilbage i hovedledningen, efter at veksleren har optaget varmen fra spildevandet. Veksleren forbindes til en brinekreds (PE-rør), som nedgravet føres til teknikskuret og kobles til varmepumpen parallelt med PVT-anlægget og således, at pumpen i PVT-kredsen også kan pumpe brinen igennem veksleren i brønden, når den er koblet til. Da det samlede licitationsresultat forelå, var der inden for anlægsbudgettet for hele renoveringen ikke råd til prisen 470.000 DKK for et komplet anlæg ekskl. Moms (587.500 kr. inkl. moms), og dette pilotanlæg blev derfor fravalgt af afdelingsbestyrelsen/bygherre, selv om prisen i sig selv var lavere end i tidligere udbud af tilsvarende anlæg.

Figur 6 viser princippet for det innovative energianlæg, der dog kun var planlagt afprøvet i et pilotanlæg for én bolig i Stengården Afd. 8, forberedt for etablering af spildevand som varmekilde.



Figur 6. Principdiagram for den projekterede løsning for Stengården Afd.8.

## 8.2 Rydevænget

Rydevænget i Århus (Figur 7), som er en afdeling under Boligforeningen Ringgården, består af 6 etagebygninger med i alt 163 lejligheder. Bebyggelsen blev renoveret i 2019-2020 med nye facader (nye vinduer, ny udvendig isolering, etc.) og på taget blev det etableret nye lejligheder med et nyt solcelleanlæg. I processen blev det besluttet at installere og afprøve et nyt varmepumpeanlæg i en opgang, der benytter spildvarme som varmekilde for at supplere en del af det varme brugsvand til bygningen.

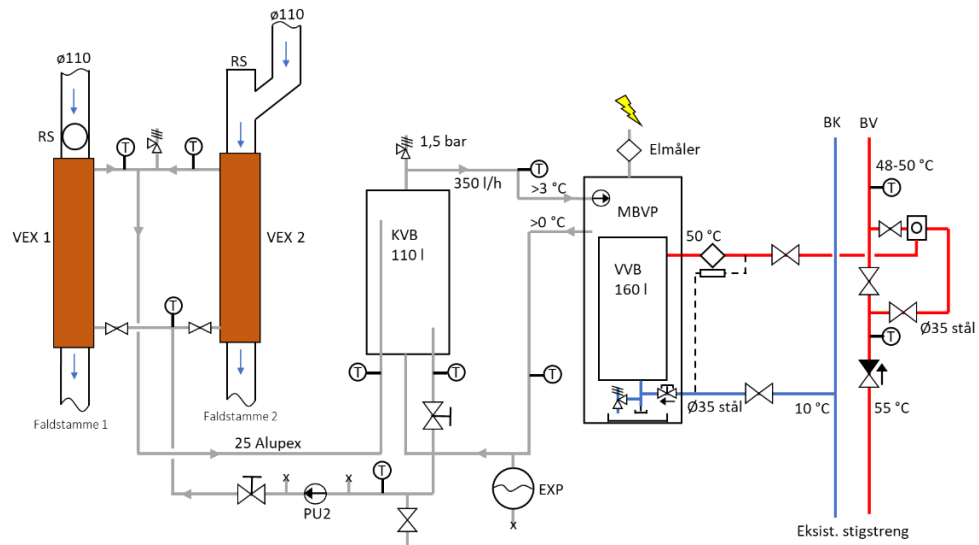


Figur 7. Boligforeningen Ringgården Afd. 21, Rydevænget med ungdomsboliger og solceller på taget

(Kilde: <https://www.bf-ringgaarden.dk/se-vores-boliger/vores-afdelinger/afdeling-21/om-afdelingen.aspx>)

### 8.2.1 Anlægsbeskrivelse

Som det var nævnt i afsnit 7 er anlægget i Rydevænget den type, der optager varme fra spildevand med en varmeveksler placeret i faldstammen og leverer varme til bygninger med en varmepumpe. Figur 8 viser principdiagrammet af anlægget installeret i Rydevænget, hvor to nyudviklede varmeoptagere er installeret i to faldstammer, der modtager spildevand fra 12 lejligheder.



Figur 8. Principdiagram af installation i Rydevænget

Figur 9 viser de to varmeoptagere, der blev udviklet for installationen. De består af to stk. 2 m lange kappevarmevekslere, der er blevet indsat i to faldstammer, som det er præsenteret i Figur 10 til højre. Som nævnet er et stykke af faldstammen skiftet med kappevarmeveksleren, der har den samme dimension. Spildevandet har en temperatur mellem 15°C og 30°C og løber igennem varmeoptageren. Mellem det interne rør og kapperøret har brinen en temperatur på ned til 1-3°C (normalt ca. 10°C) og optager varme fra spildevand.



Figur 9. Faldstamme-varmeveksler installeret i Rydevænget – det indvendige rør fungerer som faldstamme med en længde på 3 m, dvs. med en overlængde der kan afkortes, så det passer til forholdene på stedet.

Varmpumpen leverer varmt brugsvand direkte til stigestregen. Varmt brugsvand er leveret til 6 lejligheder, da det krævede ekstra rørarbejde at tilslutte anlægget til hovedrøret. Systemet producerer kun varmt brugsvand og bidrager delvis til varmtvands-forbruget i kombination med varme fra fjernvarmesystemet, der er hovedforsyningen.

Varmeveksleren er tilsluttet en bufferbeholder, hvor brinen er opvarmet af spildevand. Brine cirkuleres til en bufferbeholder på 110 liter vha. en lille pumpe. Bufferen er tilsluttet en METRO THERM Microbooster på 2 kW (1,5 kW el-patronen er afkoblet), der producerer varmt brugsvand i en indbygget 160-liter beholder. Varmt vand leveres til fremløb for varmt brugsvand via en termostatisk blendeventil. Her blandes det til ca. 45-50°C med vand på 55°C, der er

opvarmet med fjernvarmen. Hovedanlægget er forsynet med elektrokemisk vandbehandling, der sikrer mod legionella, så temperaturen i det varme brugsvand kan holdes på maksimalt 50°C uden sundhedsmæssige risici.



Figur 10. METRO THERM's Microbooster varmepumpe på billedet til venstre og varmeveksler installeret på faldstammer på billedet til højre. Et rensestykke er installeret over varmeveksler for at tillade rensning/skylning af faldstammen.

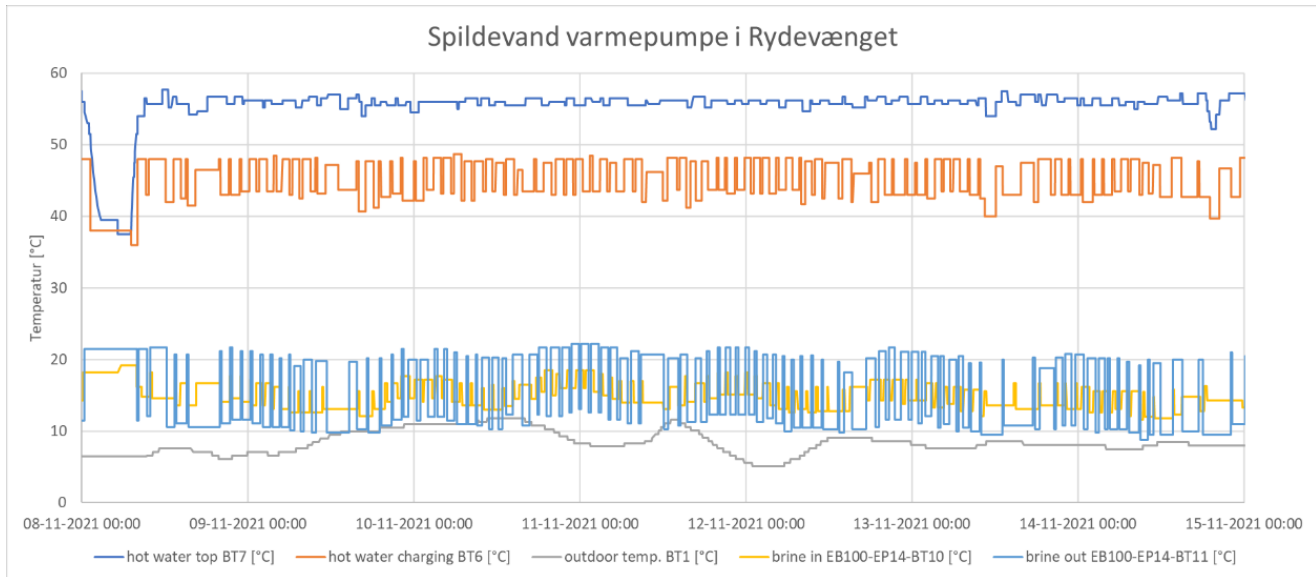
Anlæggets årlige ydelse var i designfasen estimeret til:

- > Energi optaget fra spildevand: ca. 7.450 kWh/år
- > Energiforbrug til varmepumpen: ca. 2.400 kWh/år
- > Samlet energi leveret til bygningen: ca. 9.850 kWh/år
- > Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme til varmt brugsvand: 50-60%

## 8.2.2 Resultater/monitorering

Figur 11 viser driftstemperaturer i varmepumpeanlæg for en uge fra den 08/11/2021 til den 15/11/2021. Varmepumpen producerer varmt brugsvand (blå linje) på 55°C i den indbyggede tank. Når varmepumpen er i drift, er brine-temperatur ud fra varmepumpen til veksler (lyseblå linje) mellem 7°C og 10°C, mens brine-temperatur fra veksler til varmepumpen er 13°C og 16°C, så er det muligt at se, at temperaturforskellen mellem brine ind og ud fra varmepumpe er på ca. 6°C.





Figur 11. Varmepumpe-målinger for en uge fra den 08/11/2021 til den 15/11/2021

Tabel 1 viser målinger i Rydevænget mellem den 10/12/2020 til den 13/01/2021. Målingerne giver en oversigt over en måneds forbrug, der kan antages som repræsentativ for hele året, da det varme brugsvandsforbrug er næsten konstant over året.

Tabel 1. Målinger af anlægget i Rydevænget fra den 10/12/20 til den 13/01/21

Elforbrug til varmepumpe-anlæg [kWh]	Varme-produktion [kWh]	COP Samlet [-]	COP kun varmepumpe [-]
335	1049	3,1	3,9

Med disse målinger kan den årlige varmeproduktion fra varmepumpen beregnes. Det svarer til ca. 11.268 kWh p.a. leveret til bygningens varmt brugsvands-system. Elforbruget til varmepumpeanlægget inkl. supplerende udstyr er ca. 3.600 kWh p.a., dvs at systemets COP er ca. 3,1. COP'en viser den samlede ydeevne for varmepumpen inklusive cirkulationspumpe og ekstra udstyr (inkl. monitoringscomputer). Elforbruget til cirkulationspumpen (20 W) er beregnet til 146 kWh p.a., mens elforbruget til ekstra udstyr er ca. 584 kWh p.a. Hvis alene elforbrug til varmepumpen medtages i beregningen, bliver COP'en ca. 3,9.

Det årlige varmeforbrug til varmt brugsvand i bygningen, hvor anlægget er installeret, er ca. 19.000 kWh, og varmetab i distributionen af varmt brugsvand er ca. 5.000 kWh. På det grundlag dækker anlægget ca. 47% af det samlede energiforbrug til varmt brugsvand og varmetab for disse 12 lejligheder. Varmepumpeanlægget reducerer forbruget af fjernvarme med ca. 16% for disse 12 lejligheder.

Tabel 2. *Estimering af den årlige varmeproduktion og varmepumpe dækning af energiforbrug i Rydevænget*

<b>Årlig produktion</b>	11.268	kWh
Årligt elforbrug	3.517	kWh
Årligt varmekonsum til varmt brugsvand i Rydevænget nr. 107	18.923	kWh
Årligt varmetab i Rydevænget nr. 107	5.020	kWh
Dækning af varmt brugsvandsforbrug (Varmt brugsvand + varmetab)	47	%

I perioden fra d. 10/12/20 til d. 13/01/21 var varmepumpens målte gennemsnitseffekt på 1,3 kW. Varmepumpen var i drift ca. 63% i perioden, derfor er den reelle varmepumpe effekt på 2,1 kW, der svarer til effekten af en METRO THERM Microbooster.

Tabel 3 viser den målte varmeovergang i kappevarmeveksler installeret i Rydevænget. Målinger blev udført i to forskellige perioder, hvor der blev registreret en variation i brine-temperaturen. Brine-middeltemperatur er lavere i løbet af morgen/formiddag, mens den begynder at stige i løbet af eftermiddag/aften. Det er forventet, at der ville være en variation i spildevands-temperaturen, da der er flere, der bruger varmt brugsvand i den periode. I gennemsnit er varmeovergang som forventet i designfasen.

Tabel 3. *Varmeovergang i varmevekslere installeret i Rydevænget*

	<b>Periode 1 (morgen)</b>	<b>Periode 2 (aften)</b>
Ydelse	1,44 kW	1,44 kW
Areal	1,4 m <sup>2</sup>	1,4 m <sup>2</sup>
Spildevandstemperatur	23°C	28°C
Brine-middeltemperatur	11°C	15°C
Varmeovergang	86 W/m <sup>2</sup> K	79 W/m <sup>2</sup> K

## 8.3 Trigeparken

Trigeparken Afd. 20 er også en del af Boligforeningen Ringgården i Århus (Figur 12) og består af ni 3-etagers boligblokke med i alt 153 lejligheder. Bebyggelsen blev dybde-renoveret mellem 2018 og 2020 både indvendig og udvendig (nye facader, ekstra isolering, nye installationer mv.). Der blev etableret et nyt PVT-anlæg (solcelle og solfanger) på tagene, på facade og andre løsninger for at integrere vedvarende energikilder i bebyggelsen, herunder også et varmepumpeanlæg, der genvinder varme fra spildevandet for at supplere varmt brugsvand og rumopvarmning til én af boligblokkene.



Figur 12. Boligafdelingen Trigeparken (Kilde: <https://www.bf-ringgaarden.dk/se-vores-boliger/vores-afdelinger/afdeling-20/om-afdelingen.aspx>)

### 8.3.1 Anlægsbeskrivelse

Varmepumpeanlægget blev installeret i Trigeparken i 2021 og svarer til den type, der er præsenteret i Figur 3, hvor varmeoptageren er placeret i en spildevandsbrønd og forsyner en varmepumpe.

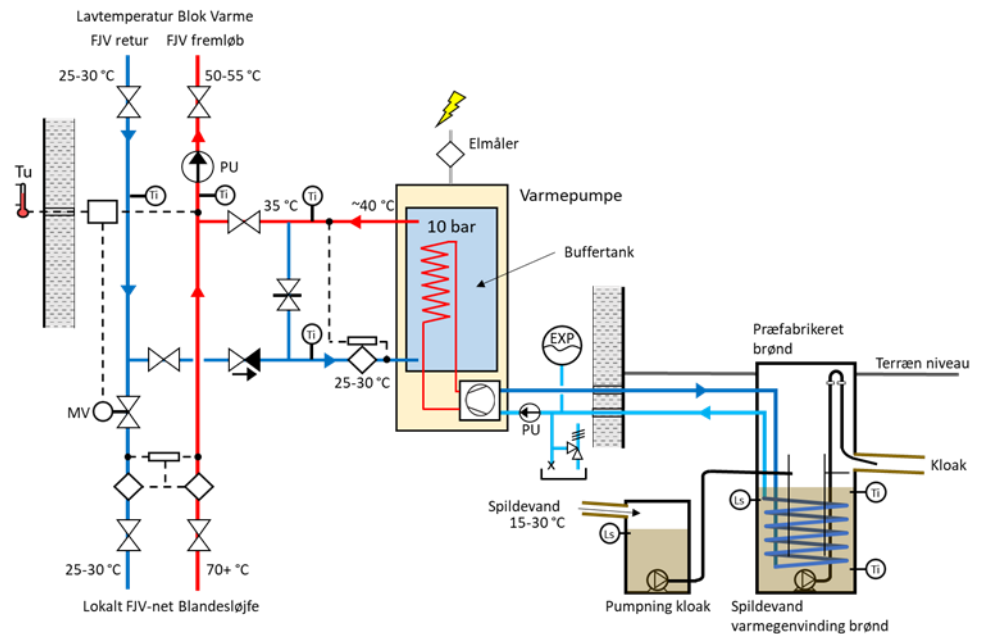
Spildevandet, der ledes til varmegenvindingsbrønden, kommer fra fire blokke med 36 lejligheder i alt, mens varmen leveret fra varmepumpen kun udnyttes i de to boligblokke med i alt 18 lejligheder.

Figur 13 viser principdiagrammet af anlægget i Trigeparken. Spildevandet, der kommer fra de 36 lejligheder, har en gennemsnitstemperatur på ca. 23°C, men kan variere fra 15°C til 30°C. Det løber til den første tank, der er på ca. 1 m<sup>3</sup>, og derfra bliver spildevandet pumpet til varmegenvindingsbrønden med et spildevandsvolumen på ca. 4 m<sup>3</sup> (Figur 14), hvor varmeveksleren er placeret (varmeveksleren har et varmeoverførende areal på 8 m<sup>2</sup>). Når der er koldt vand i bunden af brønden på ca. 6-10°C, bliver det pumpet ud af brønden til kloaksystemet med ca. 750 liter ad gangen. Brøndene er designet, så de kan skimme overflade fra spildevandet gennem overløb. Det betyder, at tilsmudsning af anlægget reduceres betydeligt.



Varmepumpen (Figur 15) er koblet direkte til varmeveksleren og optager varme fra spildevandet for at opvarme vandet der løber igennem den indbyggede bufferbeholder på 180 liter. Den yder 4-5 kW (varmepumpen har en nominal ydelse på 6 kW).

Som det er præsenteret i principdiagrammet, bliver varmt vand leveret til bygningen igennem en blandesløjfe, der er koblet til fremløbs- og returrør på den sekundære side af fjernvarmesystemet. Varmen supplerer både varmt brugsvand og rumopvarmning, da en fjernvarmeunit er installeret i hver lejlighed.



Figur 13. Principdiagrammet af anlægget i Trigeparken. Varmepumpen køler spildevandet og varmer på en buffertank, der er koblet på shuntten for bygningens varmeanlæg, der både leverer rumvarme og varme til brugsvandsvekslere i lejlighederne.



Figur 14. Varmeveksleren udført som rustfri stålspiral ses under risten til venstre og til højre ses den isolerede PE pumpebrønd, der i det aktuelle tilfælde er 6 m dyb.



Figur 15. METRO THERM Metrosaver 6 kW MB F varmepumpe under installation i et pulterrum.

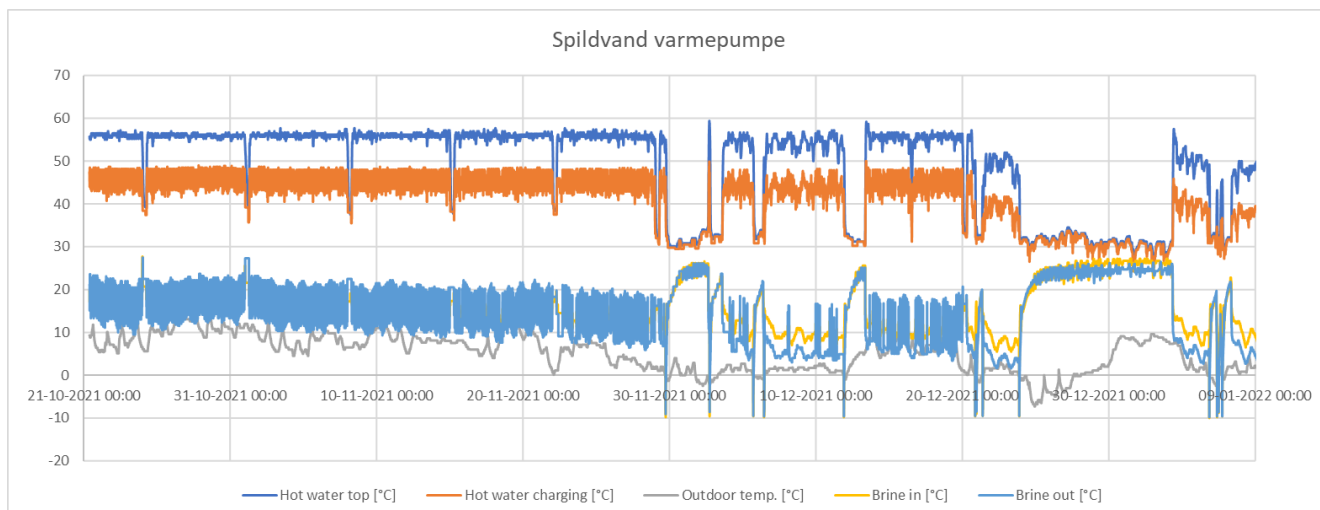
I designfasen var estimeret, at varmepumpeanlægget har følgende årlige ydelser:

- > Energi optaget fra spildevand: ca. 40.300 kWh/år ved kontinuert drift
- > Energiforbrug til varmepumpen: ca. 12.200 kWh/år ved kontinuert drift
- > Samlet energi leveret til bygningen: ca. 52.500 kWh/år ved kontinuert drift
- > Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarmen til varmt brugsvand og rumvarme: 60-75% (18 lejligheder)

### 8.3.2 Resultater/monitorering

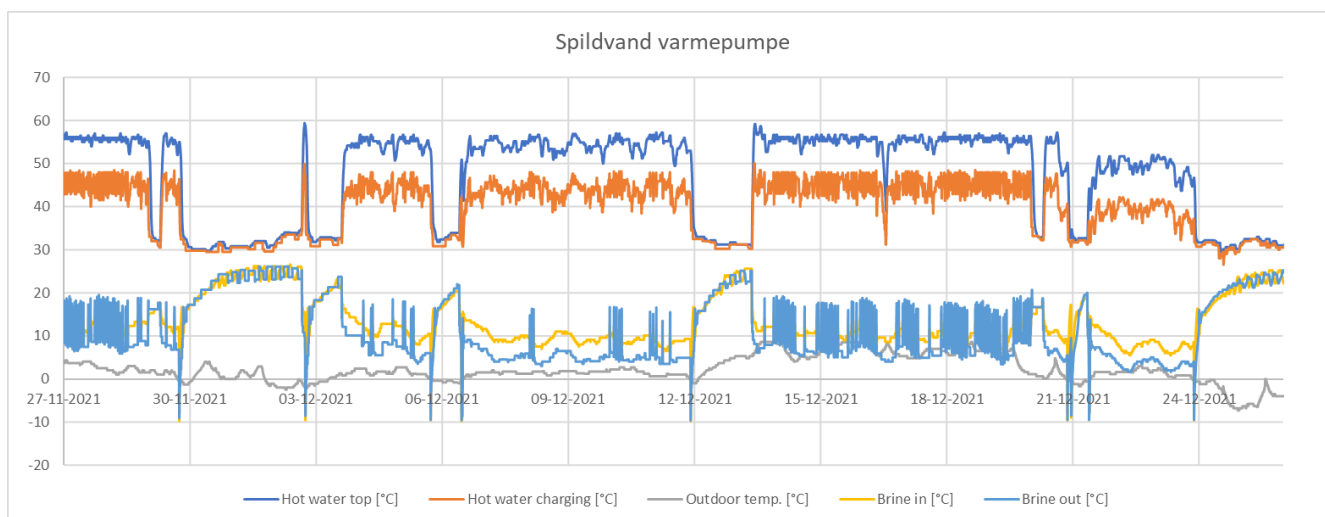
Spildevands-varmepumpen blev idriftsat tidligt i 2021. Figur 16 viser målinger fra d. 23/10/2021 til d. 09/01/2022. Den blå linje i grafen viser vandtemperatur i toppen af bufferbeholderen, orange linje viser varmtvandstemperatur i midten af bufferbeholderen, gul linje er temperatur i brinen, der kommer fra varmeoptager til varmepumpe, lyseblå linje er temperaturen i brinen fra varmepumpen til varmeoptager, og til sidst viser den grå linje udendørstemperaturen.

Varmepumpen kørte meget stabilt op til slutningen af november 2021, mens udendørstemperaturen var højere end nul grader. Varmepumpen kører automatisk et legionella beskyttelsesprogram hver mandag kl. 00 til 07 med elpatron. Dette er slået fra da der ikke er brugsvand i beholderen. Derfor falder temperaturen i beholderen i de perioder som det fremgår af Figur 16.



Figur 16. Varmepumpe målinger fra den 23/10/2021 til den 09/01/2022

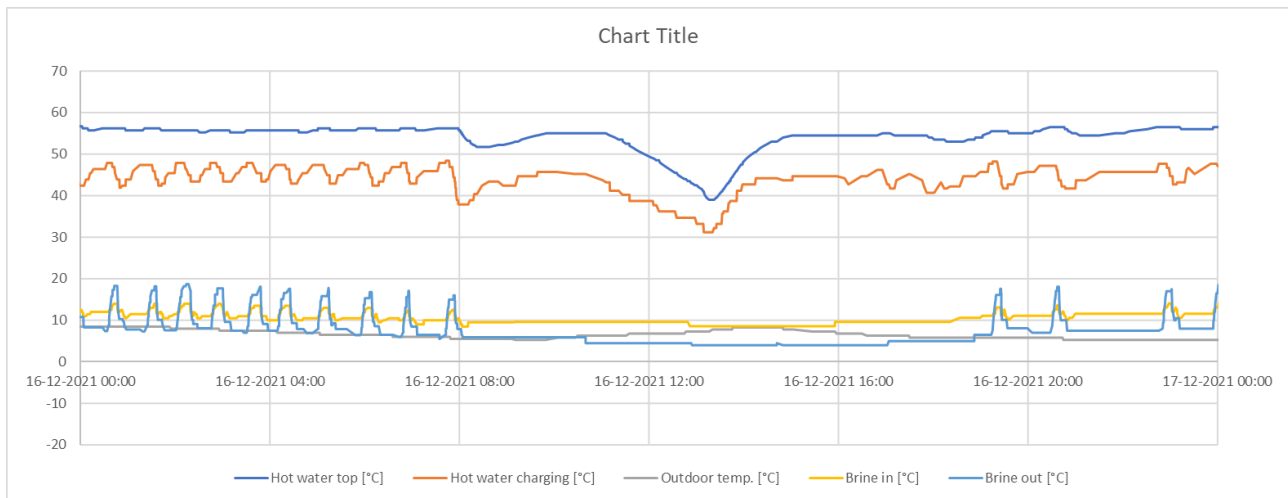
Figur 17 viser en oversigt af målinger fra d. 27/11/2021 til d. 26/12/2022, hvor man kan se relationen mellem udendørstemperatur og varmepumpedrift. Når udendørstemperaturen er under nul grader, går varmepumpen ud af drift, så den skal sættes i drift igen manuelt. Dette skyldes, at temperaturen i varmeanlægget reguleres op efter udetemperaturen og så forsvinder flowet i anlægshunten, som varmepumpen er koblet på, og hermed varmebelastningen på varmepumpen, som herefter stopper og skal efter 3 gange automatisk genstart skal genstartes manuelt (en styrings funktion som man kunne ændre i varmepumpen).



Figur 17. Varmepumpe målinger fra den 27/11/2021 til den 26/12/2021

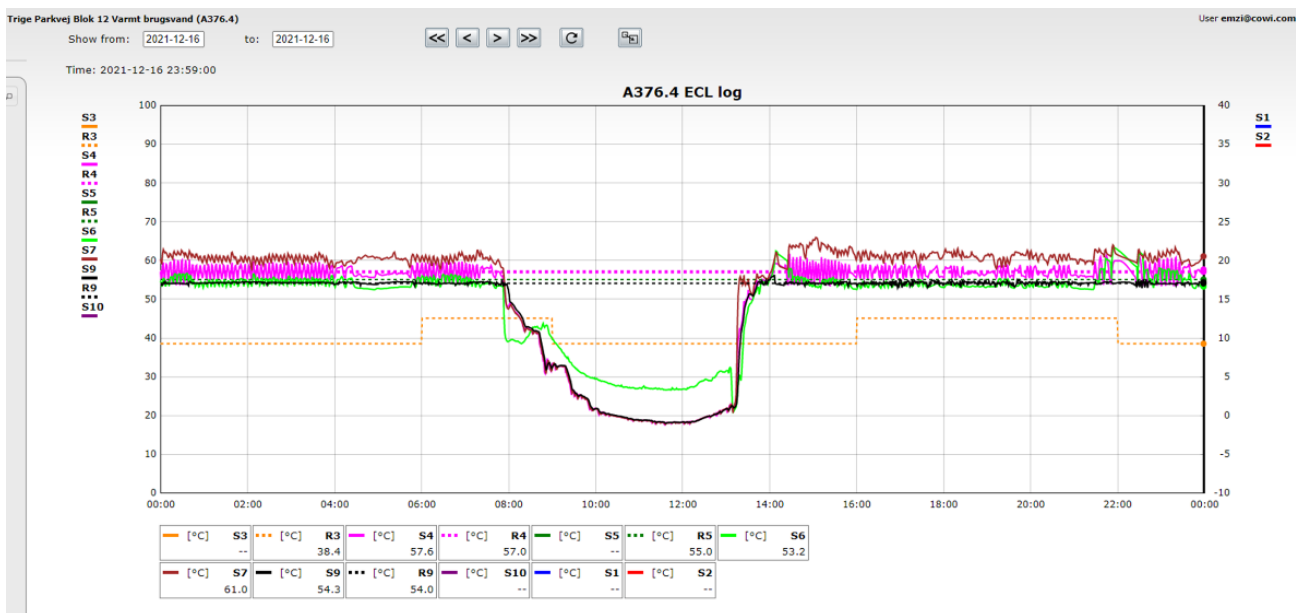
Den 16. december blev det bemærket, at varmtvandstemperatur i beholderen faldt, mens varmepumpen var i drift, selv om udendørstemperaturen ikke var under nul grader, som det kan ses i Figur 18. En yderligere analyse af varmeforsyningen fra fjernvarmenettet viste, at i tidsrummet mellem 8:00 og 14:00 var fjernvarmesystemet ude af drift, som det kan ses i Figur 19. Derfor var returtemperaturen igennem varmepumpen lavere end normal, og varmepumpen kunne ikke levere varme nok til at øge varmtvandstemperaturen, da

varmepumpen ikke er stor nok til at dække hele varmekonsumet i bygningen. den er kun et supplement til hovedforsyningen som er fjernvarme.



Figur 18. Varmepumpe målinger den 16/12/2021

Figur 19 viser temperaturer i fjernvarmesystem og varmt brugsvandsystem. Som det allerede er nævnt, var fjernvarmesystemet ude af drift mellem 8:00 og 14:00, som det kan ses på de brune og lilla linjer, der falder til rumtemperatur.



Figur 19. Fjernvarmesystems-temperaturer den 16/12/2021

Varmepumpens elforbrug til varmeproduktion er målt mellem den 8/12/2021 og den 12/01/2022 som vist i Tabel 4. Den beregnede anlægs COP er 2,9. Dette tal indeholder både elforbruget til varmepumpe med tilbehør og til de 2 store spildevandspumper, som løfter vandet først 6 m og herefter 2 m. Spildevandspumperne har en effekt på 2,8 kW, og det er beregnet, at de er i drift ca. 20 minutter om dagen. Det betyder, at når elforbruget til spildevandspumperne ikke indregnes, kan varmepumpens COP beregnes til 3,1 med den aktuelle (for) høje kondensator temperatur.

Den målte ydelse fra varmepumpen, når kompressoren er i drift, var 3,9 kW.  
Den målte gennemsnitsydelse for hele perioden inkl. ude-tid var 1,6 kW.

Tabel 4. *Energimålinger i perioden mellem den 8/12/2021 og den 12/01/2022. Varmepumpen leverer varmt vand på 55°C.*

El-forbrug [kWh]	Varme-produktion [kWh]	COP Samlet [-]	COP Kun varme-pumpe [-]	Kompressor timer i perioden [h]	Ydelse [kW]
624	1830	2,9	3,1	470	3,9

Som det er vist i Tabel 5, kan den årlige varmeproduktion fra varmepumpen estimeres baseret på de data, der er vist i Tabel 4. Det svarer til ca. 31.264 kWh og ca. 10.900 kWh i elforbrug. Årligt varmetaf til opvarmning af varmt brugsvand i bygningen er ca. 24.500 kWh, og rumopvarmning inkl. varmetaf i distributionsledninger er ca. 86.000 kWh. Der er tale om et 3-rør system hvor varmt brugsvand produceres i fjernvarmeunits installeret i hver enkelt lejlighed. Derfor bidrager spildevandsvarmepumpe til både rumopvarmning og varmt brugsvandsforbrug.

Varmepumpen dækker cirka 28% af bygningens varmebehov (varmt brugsvand + varmetaf + rumopvarmning) eller ca. 56% af varmt brugsvand og varmetaf.

Tabel 5. *Estimering af årlig varmeproduktion og varmepumpe-dækning af varmetafbruget i Blok 14*

<b>Estimeret årlig produktion</b>	31.000	kWh
Estimeret årligt elforbrug	10.800	kWh
Årligt varmetaf til varmt brugsvand i Blok 14 (2020)	24.500	kWh
Årligt varmetaf i Blok 14 (2020)*	31.500	kWh
Årligt samlet varmetaf i Blok 14 (2020)	54.400	kWh
Dækning af samlet varmebehov (Varmt brugsvand + varmetaf + rumopvarmning)	28	%
Dækning af varmt brugsvand (Varmt brugsvand + varmetaf)	56	%

\* Varmetaf i Blok 14 består af tabet i varmesystemet (inkl. rumopvarmning og varmt brugsvand) primært fra rørinstallationer i kældre mellem blokkene.

I Tabel 4 er den samlede COP angivet til 2,9 (og varmepumpens COP på 3,1), mens det var forventet at nå en COP for selve varmepumpen højere end 4. Den lavere målte COP skyldes til dels elforbrug til spildevandspumper (der har en lav virkningsgrad) og især dårlig afkøling på bygningens radiatorvarmeinstallation. COP'en afhænger i sagens natur meget af den temperatur, som varmen afleveres ved. Anlægget er designet til en returtemperatur fra varmeanlægget på 25-30°C, som varmepumpen i shunten skulle hæve til ca. 40°C, men reelt er returtemperaturen ca. 45°C (dvs. 15-20°C for høj), så varmepumpen skal hæve

temperaturen til 55°C. Den for høje returtemperatur skyldes dårlig indregulering af husets varmeinstallation og veksler units med termostatisk omløb i de enkelte lejligheder, og har således ikke noget med spildevandsvarmepumpen at gøre. Med den rigtige temperatur på varmeanlægssiden kan det forventes, at varmepumpens COP kan blive omkring 4 som opgivet fra leverandøren. Dette gælder også, hvis varmepumpen benyttes til forvarmning af varmt brugsvand.

Tabel 6. Sammenligning af varmepumpens nominelle COP fra METRO THERM's datablade og COP baseret på målinger. Differencen skyldes start/stop og lejlighedsvis kold brine pga. fedtaflejring på vamevekslerspiral. Figuren viser tydelig effekten af et lavere temperaturløft ved f.eks. at køre 10/35 som markeret med fed.

Brine-temperatur	Vandtemperatur	COP varmepumpe Nominelt	Brinetemp. Gennemsnit (Efterår-Vinter)	COP varmepumpe Målt v. forhøjet driftstemperatur v.55°C
7°C	55°C	4,63*	7-10°C	3,1
12°C	55°C	4,86*		
0°C	35°C	4,72**		
0°C	45°C	3,61**		
<b>10°C</b>	<b>35°C</b>	<b>6,49**</b>		
10°C	45°C	4,79**		

Kilde:

\* <https://www.metrotherm.dk/download/18.d8a65cd178d1f38b0df0/1622104590982/Datablad-METROSAVER-MB-F-00615-2105.pdf>

\*\*<https://www.metrotherm.dk/download/18.74430b7416a10f4435fa9b/1557223323207/METROSAVER-MB-F-6kW-PC-Installat%C3%B8rh%C3%A5ndboq-08943-1801.pdf>

Tabel 7 viser den nominelle varmepumpeeffekt og den målte gennemsnitseffekt. Som vist i Tabel 6 var varmepumpen i drift i 470 timer, som giver en middeleffekt på 3,9 kW. Dette svarer til 327 fuldlasttimer (70%).

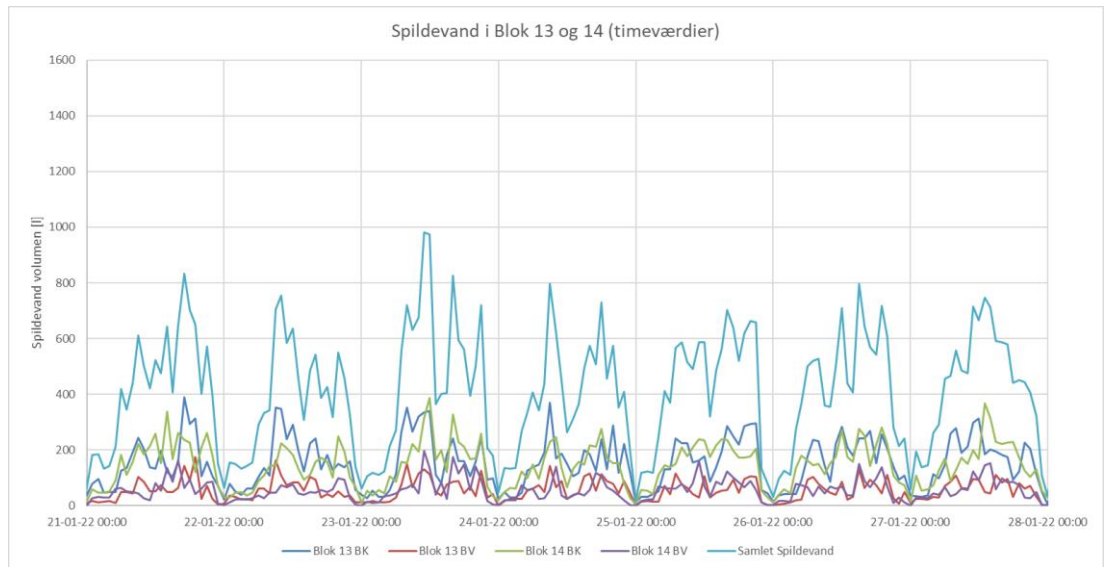
Tabel 7. Sammenligning af forventet varmepumpe-effekt og varmepumpe-effekt beregnet på grundlag af målinger

Brine-temperatur	Vandtemp.	Afgivet effekt*	Målt brine temperatur Efterår/Vinter	Målt middel effekt (i drift v. 55°C)
0°C	35°C	3,15 kW	7-10°C	3,9 kW
0°C	45°C	2,87 kW		
10°C	35°C	4,30 kW		
10°C	45°C	3,98 kW		

Kilde: <https://www.metrotherm.dk/download/18.74430b7416a10f4435fa9b/1557223323207/METROSAVER-MB-F-6kW-PC-Installat%C3%B8rh%C3%A5ndboq-08943-1801.pdf>

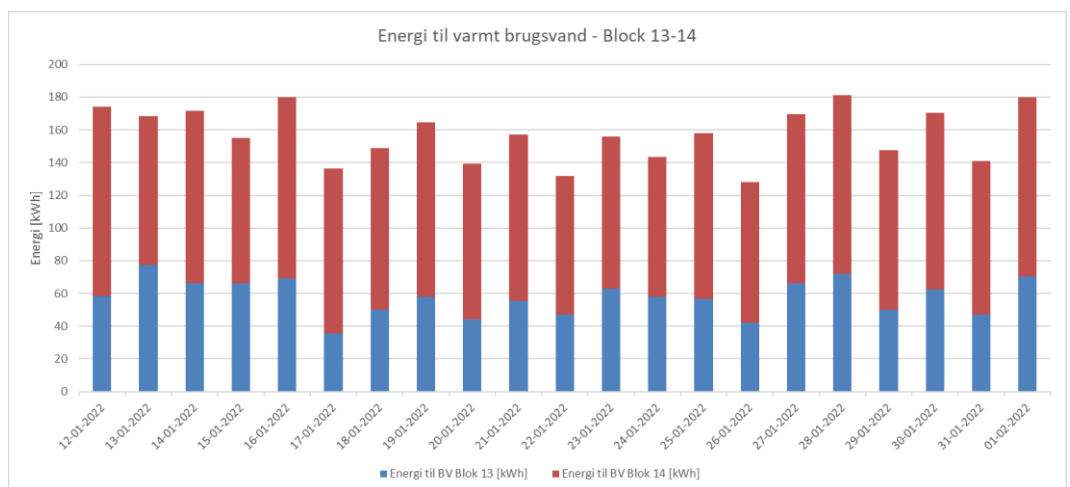


Figur 20 viser varmt og koldt brugsvands-forbrug i de to blokke i Trigeparken (Blok 13 og Blok 14). Grafen præsenterer timeværdier for begge blokke og samlet vandforbrug. Derfor kan det forventes, at næsten samme mængde vand løber ind i spildevansbrønden. Grafen viser, at spildevandsvolumen i løbet af dagen mellem kl. 7:00 og kl. 22.00 er mindst 400 l/h, med en spids på 1000 l/h, mens det om natten er lavere end 100 l/h.



Figur 20. Spildevandsflow fra Blok 13 og 14, der forsyner Trigeparken's varmegenvindingsanlæg

Figur 21 viser energiforbruget til varmt brugsvand i Blok 13 og 14, dvs varmegenvindingspotentialet i spildevandet per dag. Der opnås 100% genvinding af energi, hvis spildevandet når brønden uden varmetab, og varmepumpen køler spildevandet ned til 10°C. I gennemsnit er der et varmegenvindingspotentialt på 157 kWh per dag, der betyder, at den valgte 5-6 kW varmepumpe er en fornuftig dimensionering for at kunne udnytte varmen i spildevandet.



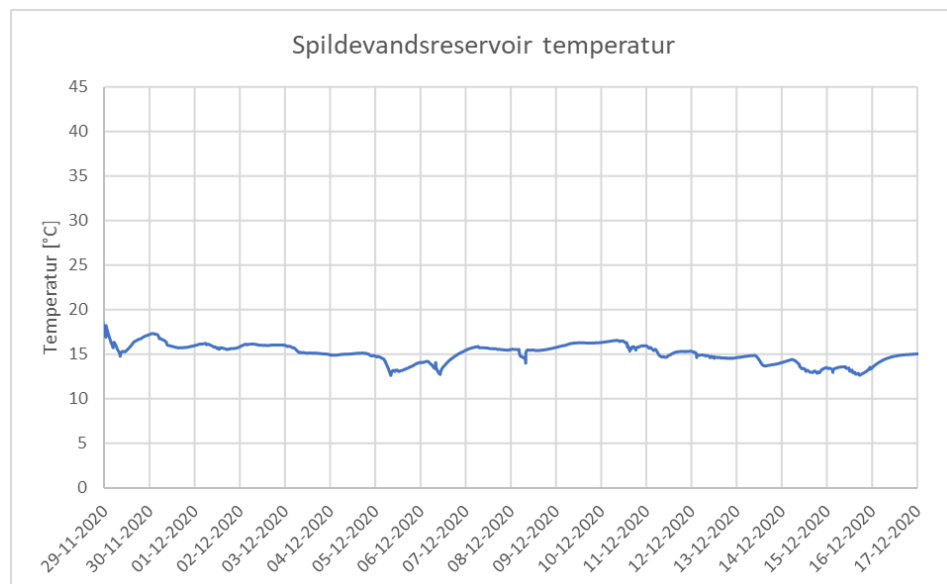
Figur 21. Energiforbrug til varmt brugsvand i Blok 13 og 14

Baseret på målinger af temperaturer i systemet, ydelsen og spildevands volumen er varmevekslerens virkningsgrad beregnet. I gennemsnit er der ca. 10 m<sup>3</sup> spildevand tilgængelig hver dag, og det antages at gennemsnitstemperaturen er

på 17°C, mens brine-temperaturen er på 10°C, det svarer til en middeltemperatur forskel på ca. 7°C. Det betyder at det potentielle energioptag per dag er 81,5 kWh. Varmeveksleren optager ca. 2,7 kW, når kompressoren er i drift, det svarer til ca. 60% af tiden (i den målte periode mellem den 8/12/2021 og den 12/01/2022), og energioptaget er derfor ca. 37,3 kWh per dag. Det betyder at systemets virkningsgrad er på ca. 46%.

Anlægget har ikke haft driftsbetingelser, der har været optimale for at kunne vurdere vekslerens virkningsgrad endeligt, men veksleren kunne med fordel være dimensioneret større.

Figur 22 viser en opblandet middeltemperatur i spildevandsreservoir mellem den 29/11/20 og den 17/12/20. Varmepumpen var lige sat i drift, og det kan også ses på spildevands-temperaturen i brønden, da der er en tendens til, at vandet bliver koldere, men de sidste dage er temperaturen i gennemsnit på ca. 15 °C.



Figur 22. Spildevandsreservoir gennemsnitstemperatur

Tabel 8 viser målinger af varmeovergang i varmeveksleren, der er installeret i Trigeparken. Målingerne viser, at brine-temperaturen bliver lavere i løbet af måleperioden. Det er forventet, at spildevandet i brønden kan variere lidt i løbet af året. Det betyder, at varmepumpen justerer brine-temperatur for at optage varme. I forhold til varmeovergangen vil snavs og fedt samle sig på varmeveksleren, og varmeovergangen bliver derfor lavere over tid. Der kræver, at varmeveksleren en gang i mellem bliver skyllet med varmt vand f.eks. 3 gange årligt, eller at veksleren overdimensioneres så den lavere varmeovergang pga. tilsmudsning kan accepteres.

Ved tilsmudsning bliver der behov for højere delta T for at kunne bevare ydelser, dvs. at brine-temperaturen skal være lavere og det giver en lavere COP.



Tabel 8. Varmeovergang i varmevekslere installeret i Trigeparken

	<b>Periode 1 (Oktober)</b>	<b>Periode 2 (December)</b>
Ydelse (varmeoptag)	2,7 kW	2,7 kW
Varmeoverføringsareal	8 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>
Spildevandstemperatur	17°C	15°C
Brine middeltemperatur	10°C	6°C
Varmeovergang	48 W/m <sup>2</sup> K	37 W/m <sup>2</sup> K

### 8.3.3 Økonomi

Den samlede investeringsomkostning for at etablere genvindingsanlægget i Trigeparken er præsenteret i Tabel 9, hvor det er også muligt at se, hvor meget de enkelte komponenter og arbejdsopgaver har kostet. Demonstrationsanlægget fik 50% tilskud fra EU, så beboernes omkostninger blev reduceret til ca. 385.000 kr. ekskl. moms (ca. 481.000 kr. inkl. moms).

Tabel 9. Installationsomkostninger til demonstrationsanlægget i Trigeparken, ekskl. moms.

Byggepladsomkostninger	52.000 kr.
Retablering af belægninger	16.500 kr.
Pumpebrønd komplet inkl. spildevandspumpe og styring	169.800 kr.
Vekslerbrønd komplet inkl. rustfri varmeveksler til omkring kr. 50.000, spildevandspumpe og styring	225.400 kr.
Varmepumpe	72.200 kr.
VVS-installationer, rør & komponenter	140.200 kr.
VVS-installationer, arbejde	30.600 kr.
El-installationer, materialer	21.600 kr.
El-installationer, arbejde	16.600 kr.
Energimålere	17.400 kr.
Prøvning og idriftsættelse	6.000 kr.
<b>Samlet investeringsomkostning før EU-støtte</b>	<b>768.300 kr.</b>

På baggrund af projektet er det vurderet, at et tilsvarende anlæg vil kunne etableres for 400.000 kr. ekskl. moms. Det forudsætter, at der kun anvendes én pumpebrønd for eksempel en standard ø 1,5 m pumpebrønd fra Grundfos med neddykket veksler. Dette tal er brugt i den økonomiske analyse, der er omtalt i afsnit 9.1. Det er endvidere vurderet, at i forbindelse med nybyggeri og/eller i tilfælde, hvor der alligevel skal installeres en varmepumpe, kan anlægget etableres for omkring 150.000 kr.

## 8.4 Alabastern

Alabastern er et boligkvarter i Växjö (Figur 23), Sverige, der består af 19 stk. 3-etagers boligblokke med 337 lejligheder i alt. Kvarteret blev renoveret mellem 2016 og 2018 med bl.a. nye facader, vinduer og en række løsninger for at introducere vedvarende energikilder. Et spildevands varmegenvindingsystem blev installeret for at optage varme fra spildevand for at kunne levere den til

bygningerne. Her anvendes et relativt avanceret svensk princip (Ecoclimate) med omrøring i beholderen og batch-vis afkøling, der er bedst egnet til større anlæg.



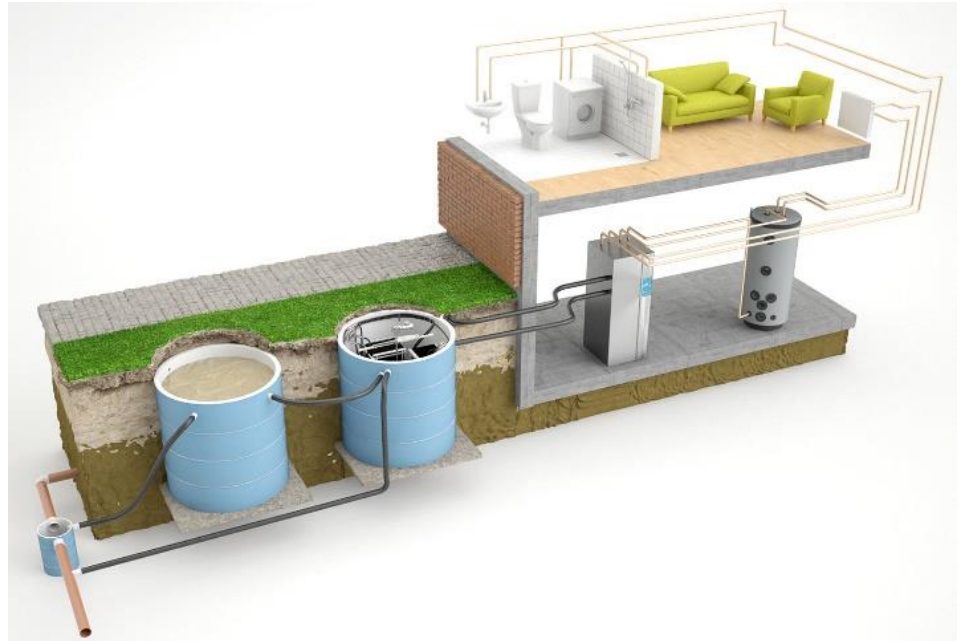
Figur 23. Alabastern bebyggelsen i Växjö, Sverige

### 8.4.1 Anlægsbeskrivelse

Spildevandsvarmepumpen installeret i Alabastern svarer til den type, der er præsenteret i Figur 3. Her samles spildevandet i en spildevandsbrønd, hvor varmeoptageren er placeret. Figur 24 er en visualisering af det anlæg, der er installeret i Alabastern. Det er installeret i en boligblok med 27 lejligheder og modtager spildevand fra 2 blokke med i alt 39 boliger. Der er benyttet en varmeveksler i plastik for at undgå korrosion. Der er i alt 40 m<sup>2</sup> varmeoverføringsareal.

Spildevandets gennemsnits-temperatur er 23°C, og det bliver først pumpet til en 4 m<sup>3</sup> buffertank. 4-5 gange per dag bliver spildevandet fra buffertanken pumpet til varmegenvindingstanken (4 m<sup>3</sup>) hvor en varmeveksler er placeret. Varmen bliver optaget fra varmepumpen, der er direkte koblet til varmeoptager. Når processen er færdig, bliver koldt spildevand på ca. 6°C pumpet ud i kloaksystemet. Varmepumpen opvarmer vand i en buffertank, og bagefter bliver varmen brugt til delvis at forsyne både rumopvarmning og varmt brugsvand.

Varmepumpen fra NIBE har en effekt på 15 kW, og brinen er bioethanol på 28-30%. På den kolde side er brinen's temperatur på 10-14°C, mens vandet på varmepumpens varme side er på 45-56°C.



Figur 24. Visualisering af Ecoclimate anlægget etableret i Alabastern

Figur 25 viser etablering af systemet i Alabastern, hvor de man ser de udvendigt isolerede rustfrie stål pumpebrønde / tanke.



Figur 25. Etablering af anlægget i Alabastern

Det er estimeret, at varmegenvindingsanlægget har følgende årlige ydelser:

- > Energi optaget fra spildevand: ca. 60.000 kWh/år
- > Energiforbrug til varmepumpen: ca. 21.000 kWh/år
- > Samlet energi leveret til bygningen: ca. 80.000 kWh/år
- > Energiforbrug i Alabastern før installering af systemet er 224.000 kWh/år
- > Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme: 35%

#### 8.4.2 Resultater/monitorering

Tabel 10 viser månedlige målinger for spildevandsvarmepumpen i Alabastern. Målingerne giver en oversigt over et års varmeproduktion fra

varmepumpeanlægget, fra februar 2020 til januar 2021. Anlægget blev sat i drift den 12. februar 2020. I august 2020 (fra den 7. august til den 3. september) var varmepumpen kun i drift få dage pga. en teknisk fejl, og det kan ses i tabellen, da varmeproduktionen er meget lavere end de andre måneder.

Ud fra de data, der er præsenteret i tabellen, er varmepumpens COP beregnet til 4,1, hvis alene elforbruget til varmepumpen medtages, eller 3,8 når elforbruget til cirkulationspumper mv er medtages.

Tabel 10. Målinger af anlægget i Alabastern

	El til VP [kWh]	Varme produceret af VP [kWh]	El til cirkulation pumper [kWh]	COP samlet [-]	COP kun VP [-]	Spildevands-temperatur ind [°C]	Spildevands-temperatur ud [°C]
Feb 2020	799	3.884	69	4,5	4,9	22,2	7,9
Mar 2020	1.539	7.342	102	4,5	4,8	23,1	6,3
Apr 2020	1.908	8.327	103	4,1	4,4	24,5	6,2
Maj 2020	2.248	8.594	101	3,7	3,8	24,9	6,2
Jun 2020	1.866	5.611	64	2,9	3,0	25	6,2
Jul 2020	1.707	5.471	64	3,1	3,2	24,9	6,1
Aug 2020	155	341	22	1,9	2,2	24,4	9,4
Sep 2020	1.900	6.605	75	3,3	3,5	25,4	6,7
Okt 2020	1.849	8.386	97	4,3	4,5	25,3	6,2
Nov 2020	1.706	8.435	105	4,7	4,9	25,2	6,1
Dec 2020	1.423	6.983	99	4,6	4,9	23,9	6,1
Jan 2021	1.373	6.414	95	4,4	4,7	23,1	6,2
	<b>18.473</b>	<b>76.393</b>	<b>996</b>	<b>3,8</b>	<b>4,1</b>	<b>24,3</b>	<b>6,6</b>

Det er beregnet, at spildevands-varmpumpeanlægget har dækket ca. 62% af energiforbruget til varmt brugsvand i bygningen og har reduceret energiforbrug fra fjernvarme med 34%. Måledata viser, at den forventede årlige varmeproduktion på 80 MWh næsten blev nået på 11 måneder med en samlet produktion på knap 76,4 MWh. Varmepumpens elforbrug er målt til 18,4 MWh p.a. og pumpens til knap 1 MWh p.a.

Gennemsnittemperaturen i spildevandet er reduceret fra 24,3°C til 6,6°C. Det medfører en udnyttelse på ca. 91% af energiindholdet i spildevandet. Det har vist sig at være et meget energieffektivt anlæg, men det har også været dyrt med samlede anlægsinvesteringer på ca. 1,22 mio. DKK. Det samme anlæg vil dog kunne betjene flere blokke, hvorved pris/ydelses-forholdet vil blive mere gunstigt.

For et års drift af varmepumpeanlæg i Alabastern var den målte gennemsnitsydelse på 9,9 kW (uden at medtage de perioder, hvor varmepumpen ikke var i drift i begyndelsen af februar 2020 (inden idriftsættelsen) og august/september 2020 pga. teknisk fejl). Hvis det antages, at en varmepumpe i gennemsnit er i drift omkring 70% af tiden, kan den reelle varmepumpe-effekt beregnes til ca. 14 kW. Det svarer omtrent til ydelsen på den varmepumpe, der er installeret i Alabastern.



Tabel 11 viser den målte varmeovergang i den varmeveksler, der er installeret i Alabastern. En særlig plastik pladevarmeveksler med 10 cm mellem pladerne blev valgt til dette anlæg. Varmeovergangen er lavere end varmevekslere i andre materialer. Desuden har snavs og fedt samlet sig på vekslerens overflade. Anlægget bør rengøres periodisk for at sikre høj varmeoptagelse fra spildevandet.

Tabel 11. Varmeovergang i varmeveksleren installeret i Alabastern

	Periode 1
Ydelse	10,7 kW
Areal	40 m <sup>2</sup>
Spildevand temperatur	15°C
Brine middel temperatur	10°C
Varmeovergang	54 W/m <sup>2</sup> K

### 8.4.3 Økonomi

Anlægget installeret i Alabastern er det største og også det dyreste anlæg blandt dem, der er demonstreret i dette projekt og evalueret i denne rapport. Investeringssomkostninger var på 1.711.566 SEK, der svarer til ca. 1.223.121 DKK. Tabel 12 giver en oversigt over investeringssomkostninger til anlægget i Alabastern. Demonstrationsanlægget fik 50% tilskud fra EU.

Tabel 12. Installationsomkostninger til anlægget i Alabastern, priser er ekskl. moms

Ecoclimate Evertherm Units	741.598 kr.
Udgravning/Landskabsarbejder	240.120 kr.
VVS-installationer	54.458 kr.
El-installationer	186.945 kr.
<b>Samlet investeringssomkostning før støtte</b>	<b>1.223.121 kr.</b>

Anlægget er mere effektivt end anlægget i Trigeparken, men den højere effektivitet kan ikke kompensere den forøgede pris. Det er et mere kompliceret koncept, og der er ikke det samme potentiale for billiggørelse i forbindelse med nybyggeri som for Trigeparken.

Anlægget er derfor kun relevant for større bebyggelser på mindst 40 boligenheder.

## 9 Kommentarer/sammenligning

### 9.1 Økonomisk analyse vedr. de evaluerede koncepter

I projektet indgår der to hovedkoncepter for udnyttelse af spildevand.

- > Det ene (Rydevænget) går på at udnytte spildevandet i faldstammer til supplerende opvarmning af varmt brugsvand.
- > Det andet (Ringgården og Alabastern) går på at udnytte spildevandet fra en hovedkloakledning fra bebyggelsen, eller dele af den, som kilde til en varmepumpe, der leverer varme til både opvarmning og brugsvand.

I dette afsnit præsenteres en økonomisk analyse af disse to koncepter med de nedenfor listede forudsætninger.

Beregningerne fører til en resulterende varmepris for varme leveret fra de to løsninger.

Forudsætninger:

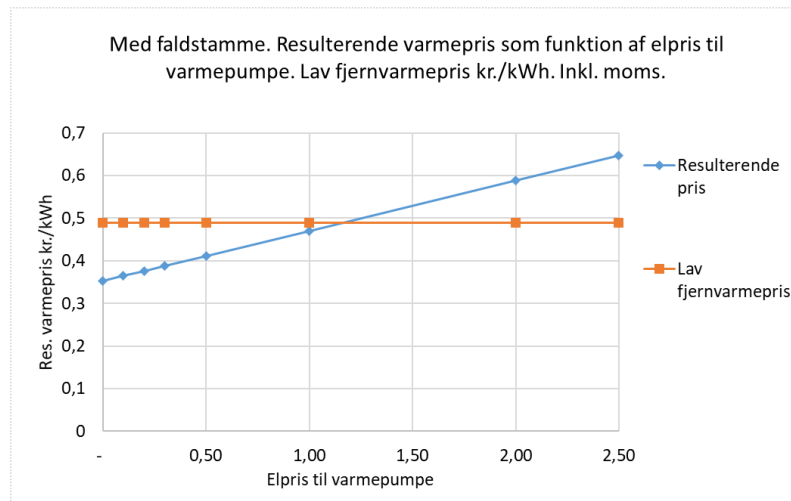
- > Anlægsinvesteringer er sat til en værdi, der svarer til en forventet pris ved en vis udbredelse af teknologien på et stigende marked. Der er her set på etablering af anlæg til eksisterende bygninger.
  - > Løsningen med varmevekslere på to faldstammer pr micro-booster-varmepumpe: 40.000 kr. inkl. montage og tilslutning, ekskl. moms. Prisen forudsætter, at der etableres en række ens anlæg i en større bebyggelse i forbindelse med renovering af faldstammer eller ved nybyggeri. I disse tilfælde vil varmepumpen kunne være en større varmepumpe, der betjener flere faldstammer.
  - > Løsningen med varmeveksler i spildevandsbrønd: 350.000 kr. inklusive installation og tilslutning, ekskl. moms. Der kan her anvendes et system med en enkelt standard ø1,5 m pumpebrønd fra Grundfos med neddykket varmeveksler.
- > Levetiden er sat til 30 år som et gennemsnit af komponenter med længere levetid (brønde mv.) og dele af varmepumpeinstallationen, der har en kortere levetid. (Rør, spildevandsbrønde og veksler kan forventes at have en levetid på 50 år)
- > Effektiviteten af udnyttelsen af spildevandet er som registreret i målingerne. I systemet med faldstammer dækkes 47% af forbruget. Med spildevandsbrønd dækkes 56%.

- > Der er set på 3 varmepriser: 49 øre/kWh svarende til en lav fjernvarmepris, 72 øre/kWh svarende til en høj fjernvarmepris og 93 øre/kWh svarende til naturgas.
- > Varmepumpens COP er sat til 4,0, uagtet at målingerne i de evaluerede anlæg har vist en noget lavere værdi, idet det er vurderet, at en COP-værdi på 4,0 kan opnås ved lejlighedsvis rensning og en bedre styring af varmeanlægget på bygningsiden (bedre afkøling med lavere returtemperatur og temperatur til forvarmning af brugsvand).
- > Renten er sat til 2%.
- > Anlægspriser og energipriser er inkl. moms.

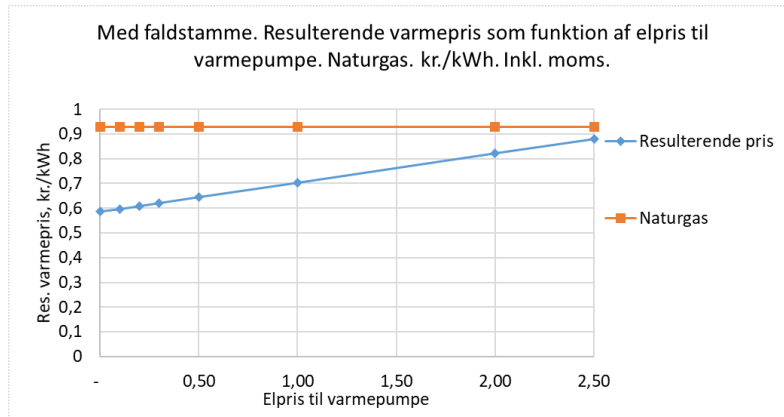
Det er klart, at en afgørende parameter er forholdet imellem prisen på varme i referencen og prisen på el til varmepumpen. Besparselsen, der opnås med varmepumpen, skal kunne finansiere investeringerne, før det kan betale sig brugerøkonomisk.

### 9.1.1 Faldstammer

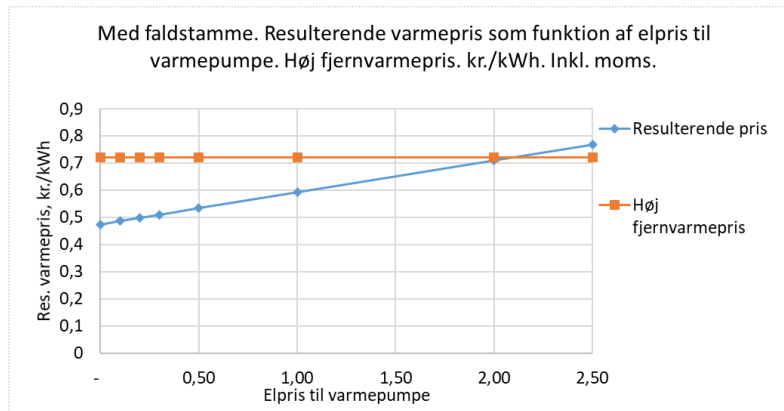
Figur 26 til Figur 28 viser beregning af den resulterende varmepris for systemet med faldstammer med de tre forskellige varmepriser.



Figur 26 *Resulterende varmepris for system med faldstammer som funktion af elpris til varmepumpen. Investering 40.000 kr. ekskl. moms. Med lav fjernvarmepris.*



Figur 27 Resulterende varmepris for system med faldstammer som funktion af elpris til varmepumpen. Investering 40.000 kr. ekskl. moms. Med naturgas.



Figur 28 Resulterende varmepris for system med faldstammer som funktion af elpris til varmepumpen. Investering 40.000 kr. ekskl. moms. Med høj fjernvarmepris.

Den orange linje (Figur 26 til Figur 28) viser varmeprisen uden spildevandsanlægget. Den blå er den resulterende varmepris med udnyttelse af spildevand til supplerende varme til den angivne pris.

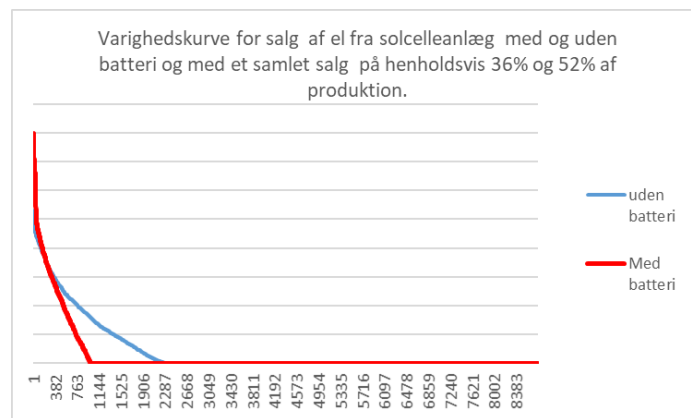
Det fremgår, at hvis der er tale om naturgas, vil udnyttelse af spildevandet give en lavere resulterende pris, også med en elpris på mere end 2,50 kr./kWh. Med fjernvarme krydser de to linjer i et punkt, som angiver den elpris, hvor besparelsen lige akkurat kan finansiere investeringerne under de givne forudsætninger. Den er ca. 2,0 kr./kWh med den høje fjernvarmepris og ca. 1,1 kr./kWh med den lave fjernvarmepris.

Systemet er altså umiddelbart økonomisk fordelagtigt, hvis opvarmningen er naturgas eller anden varmekilde til samme pris, mens det med fjernvarme kræver, at der er billigere el til rådighed. Dette kan være tilfældet, hvor el til varmepumpen er uden afgift f.eks. et anlæg ejet og drevet af et forsyningselskab, eller det kan være el-overskud fra solceller, som alternativt skulle sælges til en lav pris, evt. nul ved afregnings gruppe 4 for solceller.



Selv i fjernvarmeområder med relativt lave varmepriser kan investeringer i dette genvindings-koncept blive beboerøkonomisk fordelagtigt f.eks. når en boligafdeling f.eks. i forvejen står over for at skulle udskifte badeværelses- eller køkkenfaldstammerne, så vil merudgifterne til kappevarmevekslere og varmepumper blive reduceret. I sådanne tilfælde er det også muligt at søge boligorganisationens bestyrelse om anlægstilskud fra boligorganisationens trækingsretsmidler. Tilskuddet kan beregnes, så den grønne investering sikrer et positivt beboerøkonomisk resultat.

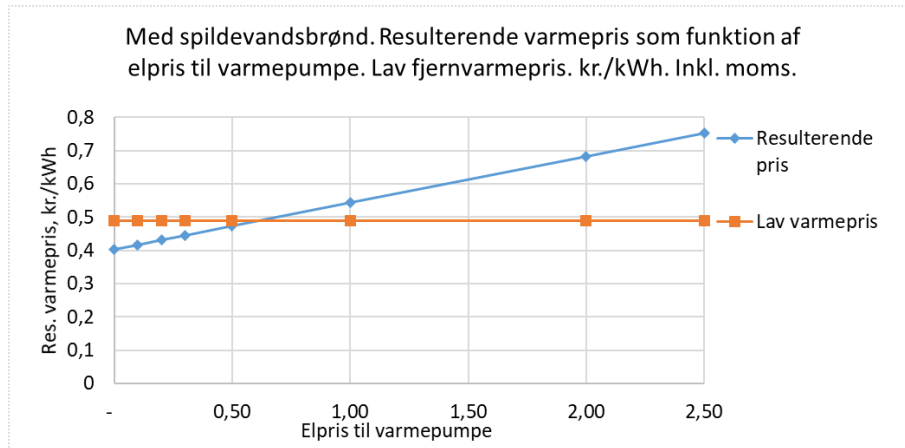
Overskud af el fra solcelleanlægget afhænger meget af solcelleanlæggets størrelse i forhold til forbruget og af, om der er et batteri med. Et eksempel fremgår af Figur 29. For anlægget med batteri er der overskud af el i godt 1000 timer om året, mens der for anlægget uden batteri og med et stort salg er overskud i mere end 2000 timer om året. Disse timer ligger selvklaart hovedsagelig i sommerperioden.



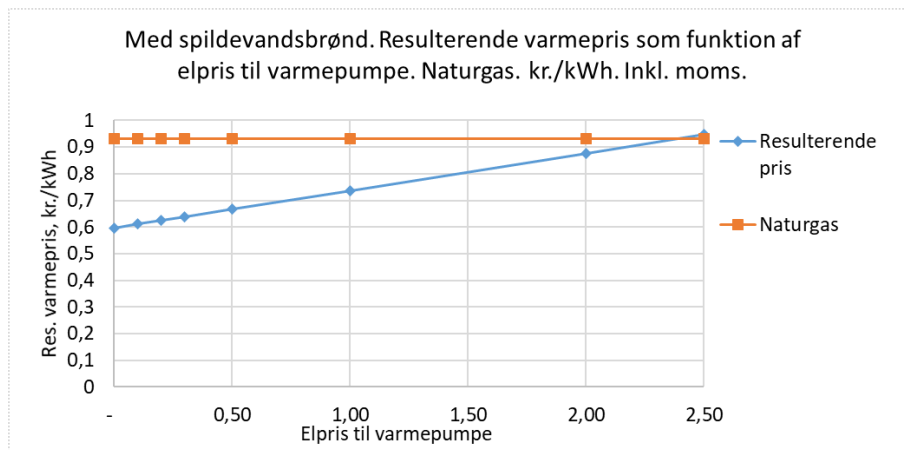
Figur 29 Overskud af el for et solcelleanlæg med og uden batteri med et salg på 36% og 52% henholdsvis.

### 9.1.2 Med spildevandsbrønd

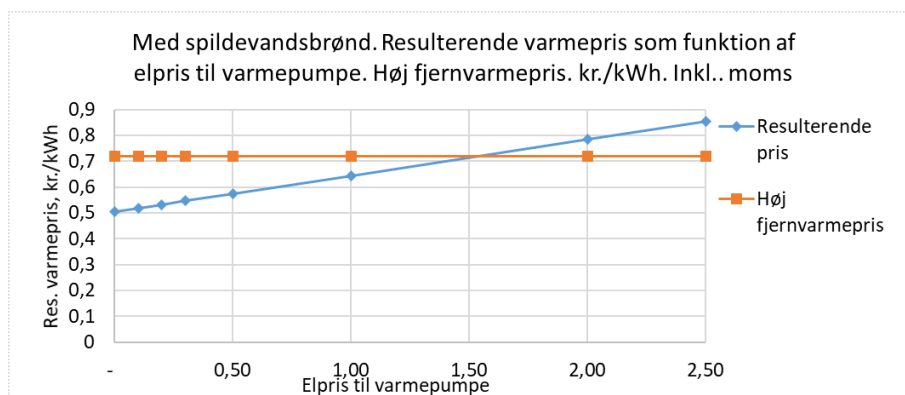
Figur 30 til Figur 32 viser beregning af den resulterende varmepris for systemet med spildevandsbrønd med de tre forskellige varmepriser.



Figur 30 Resulterende varmepris for system med spildevandsbrønd som funktion af elpris til varmepumpen. Investering 350.000 kr. ekskl. moms. Med lav fjernvarmepris.



Figur 31 Resulterende varmepris for system med spildevandsbrønd som funktion af elpris til varmepumpen. Investering 350.000 kr. ekskl. moms. Med naturgas.



Figur 32 Resulterende varmepris for system med spildevandsbrønd som funktion af elpris til varmepumpen. Investering 350.000 kr. ekskl. moms. Med høj fjernvarmepris.

Den orange linje (Figur 31 til Figur 32) viser varmeprisen uden spildevandsanlægget. Den blå er den resulterende varmepris med udnyttelse af spildevand suppleret med varme til den angivne pris.

Det fremgår, at resultatet minder meget om resultatet med faldstammerne, dog er systemet med faldstammer lidt mere fordelagtigt brugerøkonomisk. Med naturgas vil den resulterende varmepris være lavere end varmeprisen op til en elpris på 2,3 kr./kWh. Med den høje fjernvarmepris er break-even på 1,5 kr./kWh og med den lave på ca. 0,6 kr./kWh.

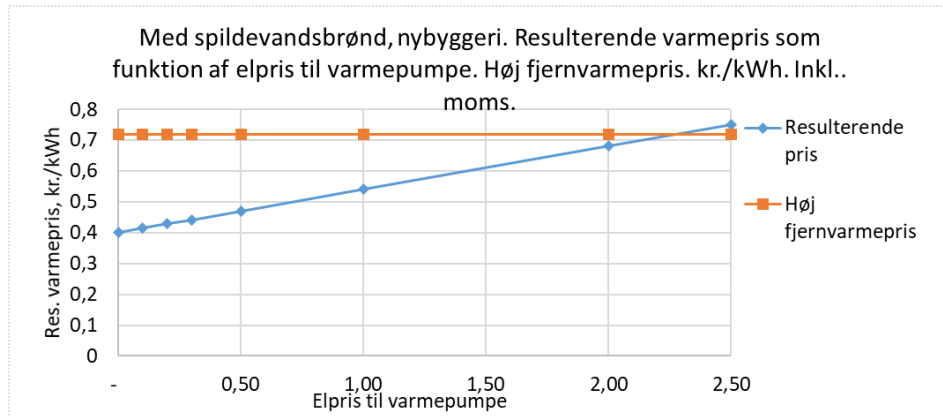
### 9.1.3 Nybyggeri

Anlægget med udnyttelse af spildevand med faldstammer vil kunne installeres noget billigere i forbindelse med nybyggeri, og økonomien vil blive bedre. Det forudsætter naturligvis, at varmeveksleren til faldstammerne ved større serier kan markedsføres til en fornuftig pris. Det vil betyde, at resultatet vist i Figur 26 til Figur 28 vil blive mere gunstigt.

For anlægget med spildevandsbrønd vil der være tale om markante besparelser på investeringerne ved nybyggeri, hvor der så også skal etableres kloakledninger og eventuelt pumpebrønd. Det gælder især, hvis der indgår etablering af varmepumper med andre varmekilder, f.eks. jordvarme, grundvand eller luft. Her kan varmen fra spildevandet supplere varmepumpen med et næsten konstant og ikke vejrafhængigt bidrag, der især kan være værdifuldt sammen med luftvarmepumpe, der virker forholdsvis dårligt i den kolde periode, hvor der er mest brug for det.

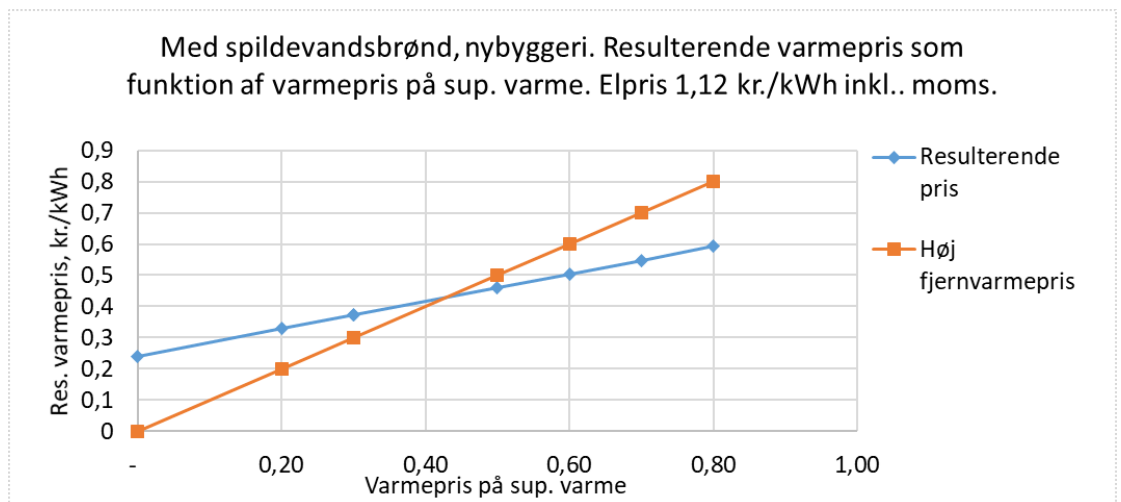
Anlægget i Stengården afd. 8 (afsnit 8.1) er netop et eksempel på en anlægstype, hvor spildevandsdelen supplerer en varmepumpe med en anden varmekilde, i det her tilfælde PVT (kombineret solceller og solfanger), hvor antallet af PVT-moduler vil kunne reduceres.

Figur 33 viser situation med spildevandsbrønd med den høje fjernvarmepris ved nybyggeri. Det er her antaget, at anlægget etableres til 150.000 kr. ekskl. moms. Break-even prisen er her 1,9 kr./kWh, og anlægget er rentabelt, hvis der bruges el uden afgift som tilfældet vil være hvis elforbruget produceres afgiftsfrit fra solcellemoduler eller når det er drevet af et forsyningsselskab.



Figur 33 Resulterende varmepris for system med spildevandsbrønd som funktion af elpris til varmepumpen. Marginal merinvestering er sat til 150.000 kr. ekskl. moms, svarende til etablering ved nybyggeri.

En tilsvarende betragtning fremgår af Figur 34. Her er der regnet med en fast elpris på 1,12 kr./kWh, svarende til elprisen i 2021 ekskl. afgifter og inkl. moms.



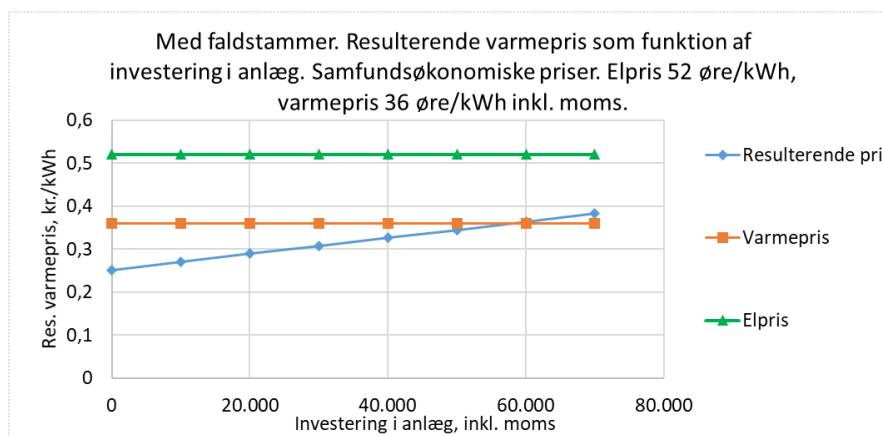
Figur 34 Resulterende varmepris for system med spildevandsbrønd som funktion af pris på supplerende varme. Elpris 1,12 kr./kWh. Marginal merinvestering er sat til 150.000 kr. ekskl. moms, svarende til etablering ved nybyggeri.

Figuren (Figur 34) illustrerer, at med en varmepris på over 50 øre/kWh vil udnyttelse af spildevand give en lavere resulterende varmepris.

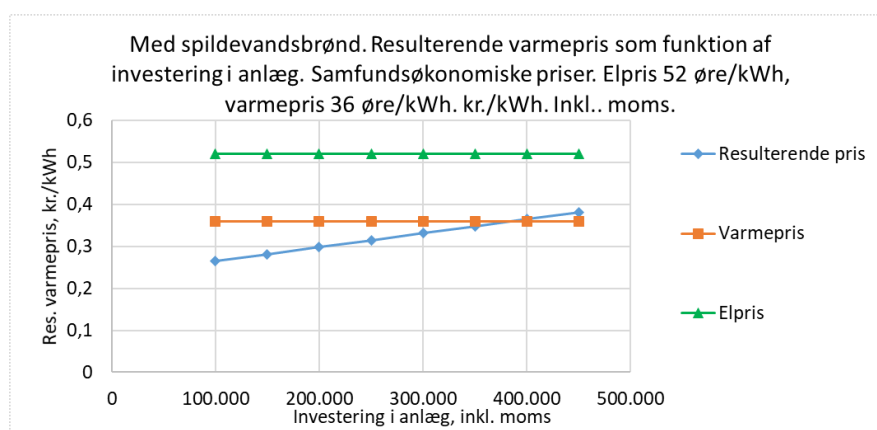
De fleste varmepumpeanlæg vil levere varme til en højere pris end 50 øre/kWh, når forrentning af anlægget indregnes. Udnyttelse af spildevand som supplerende kilde til varmepumper i forbindelse med etablering af fossilfri energiforsyning ved nybyggeri, er derfor en teknologi, der er på linje med, eller bedre, end alternativene.

### 9.1.4 Samfundsøkonomi

Af dette afsnit fremgår en tilnærmet samfundsøkonomisk beregning baseret på brug af samfundsøkonomiske priser på varme og el på henholdsvis 36 øre/kWh og 52 øre/kWh ved et forbrug på over 15.000 kWh el pr år.



Figur 35 Beregning af resulterende varmepris med samfundsøkonomiske priser på el (52 øre/kWh) og varme (36 øre/kWh) som funktion af investeringen inkl. moms. Med faldstammer.



Figur 36 Beregning af resulterende varmepris med samfundsøkonomiske priser på el (52 øre/kWh) og varme (36 øre/kWh) som funktion af investeringen inkl. moms. Med spildevandsbrønd.

Det fremgår at med faldstammerne må anlægget koste op til 60.000 kr. inkl. moms (Figur 35) for at give en lavere pris end den samfundsøkonomiske varmepris. For anlægget med spildevandsbrønd er det tilsvarende ca. 370.000 kr. inkl. moms, Figur 36.

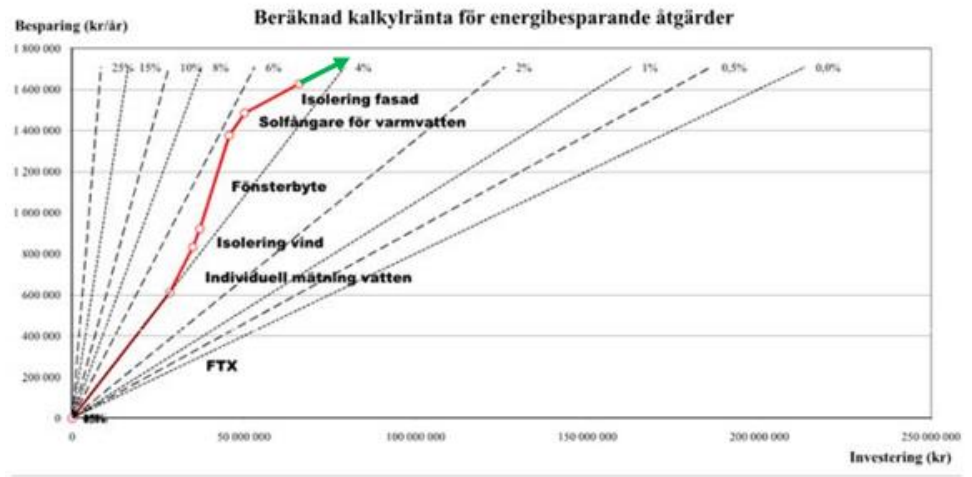
Ud fra denne forenkede samfundsøkonomiske betragtning er anlægget med faldstammer altså attraktivt samfundsøkonomisk, mens anlægget med spildevandsbrønd næsten balancerer og er attraktivt i forbindelse med nybyggeri.

Det skal erindres, at teknologien stadig er tidligt på læringskurven, og at priserne derfor fortsat må forventes at falde i takt med, at løsninger bliver mere almindelige, kendt og udbredt.

### 9.1.5 Renovering af almen boligafdeling

Løsningerne til genvinding af varme fra spildevand er oplagte at medtage i en samlet helhedsplansløsning, hvor der ofte arbejdes med en samlet "pakke" af energispare/ miljøtiltag, hvor de enkelte tiltag har forskellig rentabilitet som vist

ved hældningen i nedenstående afbildning af tiltag fra Alabastern-renoveringen. Det er individuelt, hvad boligselskaberne kan acceptere af minimumsforrentning i det enkelte projekt, men 3-5% er ofte anvendt.



Figur 37 Energisparepakke-investering og årlig besparelse. Hvis kravet f.eks. er en samlet forrentning på 4%, så viser grafen, at der er plads spildevandsgen- vinding, som vist med den grønne pil.

Det skal tages med i betragtning, at almene boligafdelinger normalt kun renove- res med ca. 40 års mellemrum, og at en helhedsplan, der gennemføres nu, der- for bør sikre, at bygningerne stadig er up-to date om 15-20 år. Derfor gøres der normalt meget ud af energisparetiltag som varmegenvinding på ventilation, vin- duesudskiftning, ekstra isolering mv samt etablering af vedvarende energianlæg som solcelleanlæg og varmepumper. Det bør nu også overvejes at medtage var- megenvinding på spildevand i fremtidige renoveringer.

Den klimapolitiske målsætning betyder også, at det kan være en vej frem også at medtage tiltag med mindre økonomisk rentabilitet som forudsætning for at kunne bidrage til målet om 70% reduktion af de danske udledninger af drivhus- gasser. Dette gælder f.eks. også for de sidste cm isolering, som man måske i en rent økonomisk vurdering ville udelade, hvis ikke der var et krav i bygningsreg- lementet om at opfylde en vis energiramme.

## 10 Teknisk sammenfatning - anvisninger

I det følgende er der samlet en skematisk sammenligning af koncepterne i 3 demonstrationsanlæg med anbefalinger, fordele, ulemper, anvendelsesområder, designkriterier og nøgletal.

### 10.1 BF Ringgården – Afdeling 21 - Rydevænget

Navn	Afdeling 21 - Rydevænget
Boligforening	Boligforeningen Ringgården
Placering	Rydevænget, Aarhus
Kort beskrivelse	<p>Projektet er udført i en bebyggelse med 6 stk. 5-etagers blokke, der er tilsluttet til fjernvarmenettet. Bebyggelsen blev dybderenovret i 2020, og en række vedvarende energikilder blev introduceret.</p> <p>I en opgang i den nordligste bygning blev varmepumpeanlægget på 2 kW etableret for at udnytte varme fra spildevand. Anlægget består af 2 nye kappevarmevekslere, der blev indpasset i to faldstammer og tilsluttet til varmepumpen. Faldstammerne modtager vand fra 12 lejligheder i alt (6 lejligheder per faldstamme). Varmepumpen optager varme fra spildevandet, og producerer varmt brugsvand, der leveres direkte til stigestreng.</p> <p>Anlægget bidrager delvis til forsyning med varmt brugsvand i den opgang, hvor det er placeret (modtager spildevand fra 12 lejligheder og forsyner 6 lejligheder med varmt vand).</p>
Fakta	<p>Opført 1982-1987. Renovering: 2020 Antal boliger: 163 Antal boliger hvor anlægget er udført: 12 Antal beboere: ca. 400 i Rydevænget</p>



Oversigts-  
kort

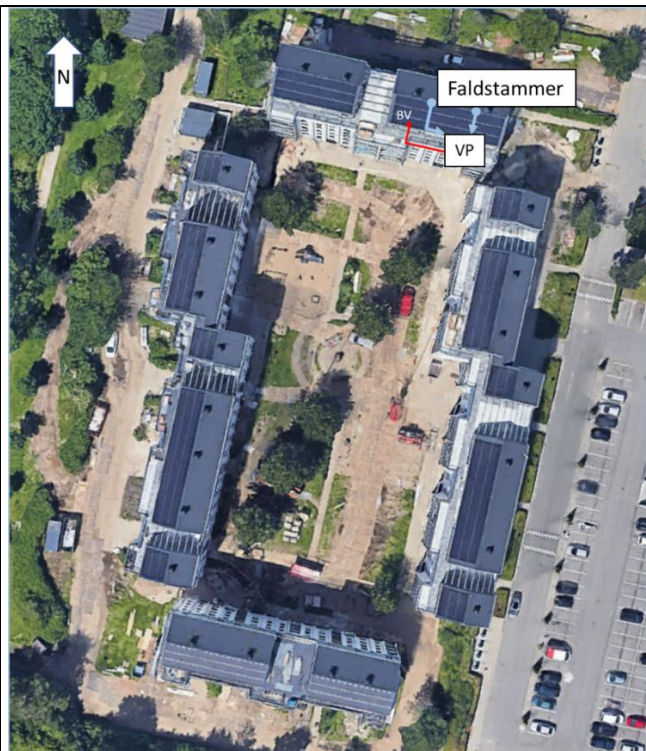


Foto af  
Mikrobooster  
varmepum-  
pen og fald-  
stamme med  
den isolerede  
veklser samt  
de uisolerede  
veklser før  
installering



<p>Principdiagram</p>																																		
<p>Måledata</p>	<p>Den følgende tabel viser årlige forbrugs- og produktionsdata baseret på målinger i Rydevænget.</p> <table border="1" data-bbox="531 927 1422 1480"> <tr> <td><b>Energiforbrug til varmt brugsvand i bygningen (varmt brugsvand + varmetab)</b></td> <td>24.000</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>Årlig varmeproduktion</td> <td>11.268</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>Årligt elforbrug til varmepumpe</td> <td>2.867</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>Årligt elforbrug til cirkulationspumper</td> <td>730</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>Energi optaget fra spildevand</td> <td>7.672</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>COP samlet</td> <td>3,1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>COP varmepumpe</td> <td>3,9</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Dækning af varmt brugsvandsforbrug (varmt brugsvand + varmetab)</td> <td>47%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme</td> <td>15%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Varmeovergang i spidsperioder</td> <td>86</td> <td>W/m<sup>2</sup>K</td> </tr> <tr> <td>Varmeovergang i lavforbrugsperioder</td> <td>79</td> <td>W/m<sup>2</sup>K</td> </tr> </table>	<b>Energiforbrug til varmt brugsvand i bygningen (varmt brugsvand + varmetab)</b>	24.000	kWh/år	Årlig varmeproduktion	11.268	kWh/år	Årligt elforbrug til varmepumpe	2.867	kWh/år	Årligt elforbrug til cirkulationspumper	730	kWh/år	Energi optaget fra spildevand	7.672	kWh/år	COP samlet	3,1	-	COP varmepumpe	3,9	-	Dækning af varmt brugsvandsforbrug (varmt brugsvand + varmetab)	47%		Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme	15%		Varmeovergang i spidsperioder	86	W/m <sup>2</sup> K	Varmeovergang i lavforbrugsperioder	79	W/m <sup>2</sup> K
<b>Energiforbrug til varmt brugsvand i bygningen (varmt brugsvand + varmetab)</b>	24.000	kWh/år																																
Årlig varmeproduktion	11.268	kWh/år																																
Årligt elforbrug til varmepumpe	2.867	kWh/år																																
Årligt elforbrug til cirkulationspumper	730	kWh/år																																
Energi optaget fra spildevand	7.672	kWh/år																																
COP samlet	3,1	-																																
COP varmepumpe	3,9	-																																
Dækning af varmt brugsvandsforbrug (varmt brugsvand + varmetab)	47%																																	
Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme	15%																																	
Varmeovergang i spidsperioder	86	W/m <sup>2</sup> K																																
Varmeovergang i lavforbrugsperioder	79	W/m <sup>2</sup> K																																
<p>Fordele</p>	<p>Varmevekslere kan installeres på faldstammer, typisk i kælder og evt. kobles sammen med en større varmepumpe. Veksler er udført af sammensvejste standard rustfri stål-afløbsrør fra leverandøren Blücher, som kan tilpasses i længden og evt. kombineres med rottespærre.</p> <p>Anlægget kan med fordel installeres, hvor der er solcellestrøm i overskud om sommeren, især ved afregningsgruppe 4.</p> <p>Varmepumpen er en prisbillig Mikrobooster varmepumpe fra METRO THERM, der også kan levere buffertanken (elvandvarmer uden elpatron).</p>																																	
<p>Ulemper</p>	<p>Varmevekslerne er endnu ikke et standardprodukt.</p>																																	
<p>Anvendelsesområder</p>	<p>Velegnet til etagebyggeri, hvor hver faldstammer betjener 3-8 lejligheder.</p>																																	

Design-kriterier	<p>Varmepumpen tilsluttes med en termostatisk blandeventil og en flowbegænsner på varmtvands-cirkulationsledningen. Det anbefales at forsyne den samlede varmtvandsinstallation med anti-Legionella anlæg (elektrokemisk vandbehandling).</p> <p>Anlægget skal indreguleres omhyggeligt og overvåges af driften (via netopkobling).</p> <p>Varmeveksler skal kondens-isoleres.</p> <p>Varmt brugsvand fra hovedvarmesystem (fjernvarme) skal være mindst 55 °C, så kan varmt vand fra varmepumpen blandes til den ønskede temperatur, der skal leveres til lejligheder (48-50 °C).</p>
Nøgletal	<p>Varmevekslerne kan typisk genvinde 40% af energien i afløbsvandet.</p> <p>Varmepumpens COP er 3-4 uden medregning af evt. elpatron og cirkulationspumper mv.</p>
Vedligehold	<p>Der skal være rensestykke over varmeveksleren, så det er muligt at tilse og rense afløbsrøret indvendigt (spuling med varmt vand/sæbevand).</p>

## 10.2 BF Ringgården – Afdeling 20 - Trigeparken

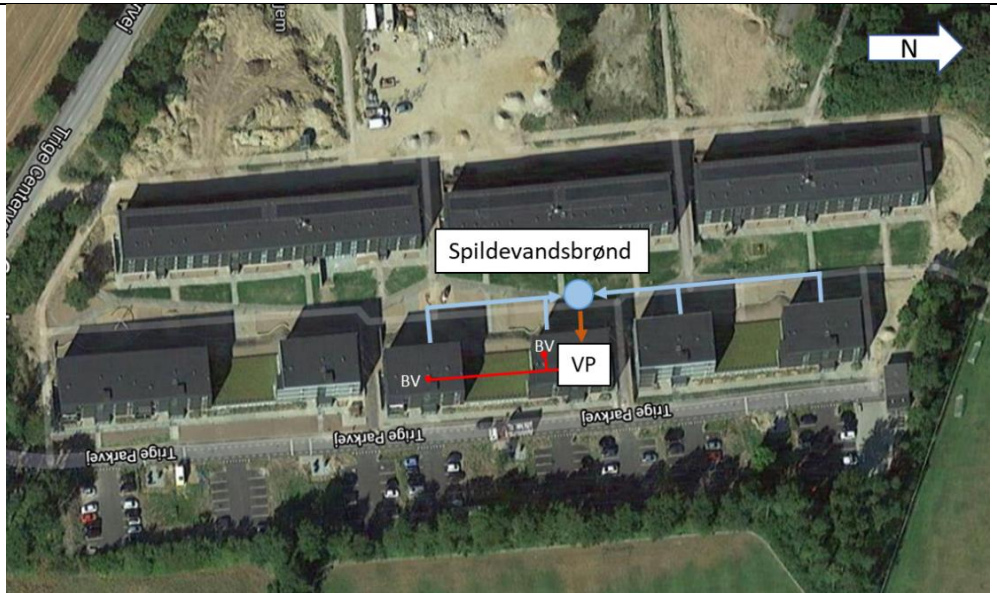
Navn	Afdeling 20 – Trigeparken
Boligforening	Boligforeningen Ringgården
Placering	Trige Parkvej, Aarhus
Kort beskrivelse	<p>9 stk. 3-etagers blokke med fjernvarmeforsyning. Vedvarende energikilder blev integreret i løbet af dybderenovering i 2019-2020. 3 opgange blev nedrevet i de 3 østlige blokke, som vist i oversigtskortet. Et varmepumpeanlæg på 6 kW er etableret i kælderen under de to blokke i midten for at udnytte varmen i spildevandet. Spildevandet fra de 4 østlige blokke mod nord er samlet i en spildevandbrønd (36 lejligheder i alt), hvor en rustfri spiral veksler placeret i brønden optager varmen fra spildevandet. Varmepumpen leverer varme til et lavtemperatur varmesystem, der både leverer rumvarme og opvarmning af varmt brugsvand vha. fjernvarmeunits placeret i de enkelte lejligheder. Anlægget bidrager kun i de to blokke i midten (18 lejligheder).</p>
Fakta	<p>Opført i 1984.                  Renoveret i 2019-20                  Antal boliger: 153 i alt i Trigeparken                  Antal boliger der forsyner spildevand: 36                  Antal boliger der får varme fra varmepumpen: 18                  Antal beboere: ca. 400 i Trigeparken</p>
Oversigtskort	



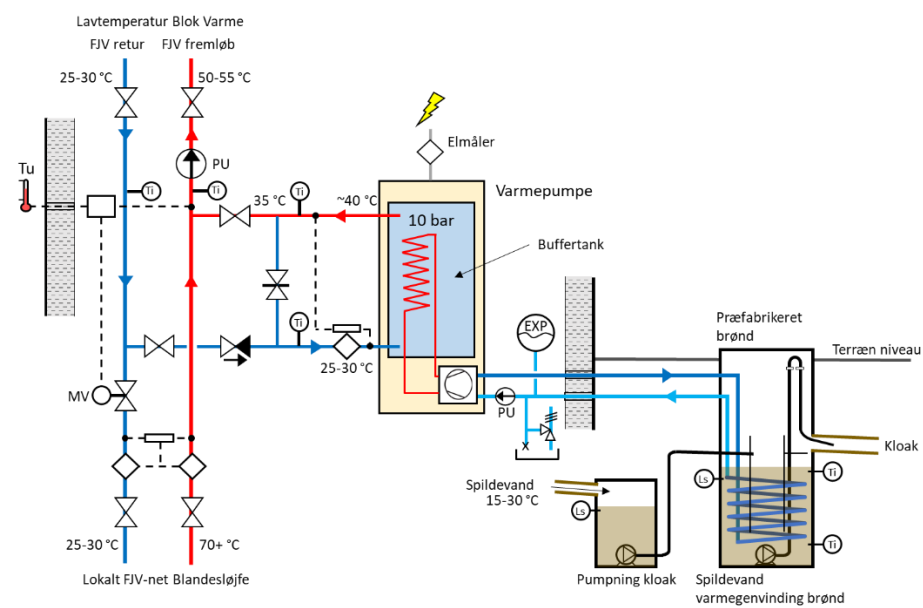
Foto  
PE spildevands-  
brønd med var-  
mespiraler i  
rustfri stål og  
dykpumpe



Varmepumpen  
under installe-  
ring i pulterrum



Principdiagram



<p>Måledata</p>	<p>Den følgende tabel viser årlige forbrugs- og produktionsdata baseret på målinger i Trigeparken.</p> <table border="1" data-bbox="544 331 1434 920"> <tr> <td><b>Energiforbrug til varmt brugsvand i bygningen</b> (varmt brugsvand + nettab)</td> <td>56.079</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>Årlig varmeproduktion</td> <td>31.265</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>Årligt elforbrug til varmepumpe</td> <td>10.512</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>Årligt elforbrug til cirkulationspumper</td> <td>337</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>Energi optaget fra spildevand</td> <td>20.753</td> <td>kWh/år</td> </tr> <tr> <td>COP samlet</td> <td>2,9</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>COP varmepumpe</td> <td>3,1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Dækning af varmt brugsvandsforbrug (varmt brugsvand + varmetab)</td> <td>56%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme</td> <td>28%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Veksler-virkningsgrad</td> <td>46%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Varmeovergang afhængig af perioden og tilsmudsningsgrad</td> <td>37-48</td> <td>W/m<sup>2</sup>K</td> </tr> </table>	<b>Energiforbrug til varmt brugsvand i bygningen</b> (varmt brugsvand + nettab)	56.079	kWh/år	Årlig varmeproduktion	31.265	kWh/år	Årligt elforbrug til varmepumpe	10.512	kWh/år	Årligt elforbrug til cirkulationspumper	337	kWh/år	Energi optaget fra spildevand	20.753	kWh/år	COP samlet	2,9	-	COP varmepumpe	3,1	-	Dækning af varmt brugsvandsforbrug (varmt brugsvand + varmetab)	56%	-	Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme	28%	-	Veksler-virkningsgrad	46%	-	Varmeovergang afhængig af perioden og tilsmudsningsgrad	37-48	W/m <sup>2</sup> K
<b>Energiforbrug til varmt brugsvand i bygningen</b> (varmt brugsvand + nettab)	56.079	kWh/år																																
Årlig varmeproduktion	31.265	kWh/år																																
Årligt elforbrug til varmepumpe	10.512	kWh/år																																
Årligt elforbrug til cirkulationspumper	337	kWh/år																																
Energi optaget fra spildevand	20.753	kWh/år																																
COP samlet	2,9	-																																
COP varmepumpe	3,1	-																																
Dækning af varmt brugsvandsforbrug (varmt brugsvand + varmetab)	56%	-																																
Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme	28%	-																																
Veksler-virkningsgrad	46%	-																																
Varmeovergang afhængig af perioden og tilsmudsningsgrad	37-48	W/m <sup>2</sup> K																																
<p>Fordele</p>	<p>Egner sig til større bebyggelser med over 36 lejligheder. Kan udføres med præfab PE pumpebrønde fra Grundfos.</p>																																	
<p>Ulemper</p>	<p>Afhænger af placering af afløbsledninger. Det er vanskeligt at opnå termisk lagdeling i pumpebrønden, spildevandet bør derfor afkøles helt (til 6-10°C) før pumpen startes og leder spildevandet videre til hovedkloak.</p>																																	
<p>Anvendelsesområder</p>	<p>Boligblokke og rækkehuse med fælles varmecentraler. Det anbefales at forsyne den samlede varmtvandsinstallation med anti-Legionella anlæg (elektrokemisk vandbehandling). Anlægget kan med fordel installeres, hvor der er solcellestrøm i overskud om sommeren, især ved afregningsgruppe 4.</p> <p>Anlægget er særligt egnet, hvor den fortrængte alternative varme er dyr, dvs. områder med naturgas forsyning og i fjernvarmeområder, hvor det "faste" tariffbidrag er gjort afhængig af det variable fjernvarmeforbrug. I mindre bebyggelser, hvor der i forvejen er en væske/vand varmepumpe, kan denne med fordel kombineres med en varmeveksler i en spildevandsbrønd.</p>																																	
<p>Design kriterier</p>	<p>COP ved fuld opvarmning af brugsvand ca. 3 inkl. 2 stk. spildevandspumper COP ved forvarmning af brugsvand 4-5, med frakoblet elvarmepatron Varmepumpe-styring kan optimeres, så den regulerer ned, når vandet i brønden er koldt og op når det er varmt. Anlægget skal indreguleres omhyggeligt og overvåges af driften (via netopkobling). Der bør være termostatisk beskyttelse foran varmepumpe, hvis den er begrænset til max 20°C i brine indløb. Brine kan med fordel frostsikres med IPA sprit. Det anbefales at overdimensionere varmespiral.</p>																																	

	<p>Ved nybyggeri kan varmeveksler indpasses i spildevandsbrønd, som alligevel skulle udføres, og man kan nøjes med 1 pumpebrønd, herved reduceres merprisen for varmegenvindingsanlægget væsentligt.</p>
Nøgletal	<p>Varmeovergang for varmeveksler 37-48 W/K m<sup>2</sup>                      5-6 kW varmepumpe med omdrejningsregulering passer til afløb fra 36-(54) lejligheder                      Med større veksler kan man gå op i varmepumpe størrelse. Den nuværende varmeveksler er i underkanten ift. at skulle udnytte varmen fuldt ud på et anlæg, der modtager spildevand fra 36 lejligheder.                      Brøndens volumen bør rumme 2,5-4 m<sup>3</sup> spildevand og spildevandet skal altid dække veksleren.</p>
Vedligehold	<p>Uden omrøring/pumpning dannes der over tid flydelag og en fedthinde på vekslerne, som bør fjernes ved at spule med varmt vand.</p> <p>Ved indstilling af ur for spildevandspumper kan man lade vandstanden stige så flydelag skimmes gennem overløb, og lejlighedsvis kan brønde pumpes tomme. Den anvendte Grundfos SEV-pumpe håndterer slam og fremmedlegemer pga. 60 mm frigang.</p> <p>Brøndene har et reservoir i pumpeumpen som lejlighedsvis (hvert 1-2 år) kan tømmes med en slamsuger (dette er normal praksis for pumpebrønde)</p>



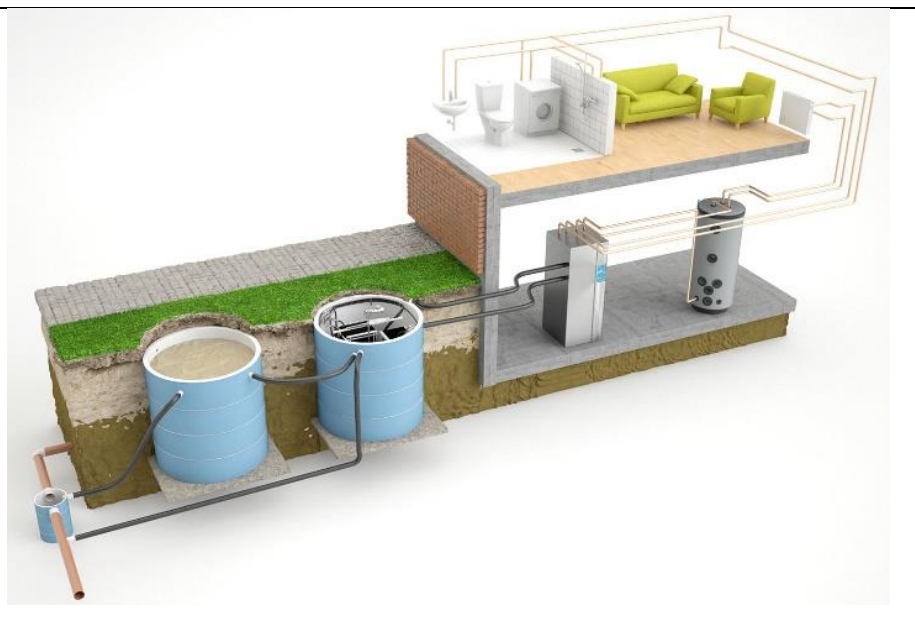
### 10.3 Växjöbostäder AB - Alabastern

Navn	Alabastern
Boligforening	Växjöbostäder AB
Placering	Nydalavägen, Växjö
Kort beskrivelse	<p>3-etagers blokke med fjernvarmeforsyning. Vedvarende energikilder blev integreret i forbindelse med en total renovering i 2015-2018.</p> <p>Et varmepumpeanlæg på 15 kW blev herefter etableret for producere supplerende varme ved at genvinde varmen fra spildevand fra 39 lejligheder. Anlægget består af 3 nedgravede brønde/tanke udført i rustfri stål isoleret med PUR skum. Første brønd er en samlebrønd, dernæst er der en omrørt buffertank og herefter en vekslerbrønd også med omrøring. Alle 3 brønde har en spildevandspumpe indbygget. Pumpen i samlebrønden er en kniv-pumpe, der nedleder spildevandet. Varmeveksleren er en pladeveksler udført i plast med en overflade på 40 m<sup>2</sup>. Spildevandet pumpes batchvis mellem buffer og vekslerbrønd. Varmeveksleren optager varme fra 4 m<sup>3</sup> spildevand ad gangen, og når spildevand har nået ca. 6°C, pumpes det ud i kloakken. Varmepumpen er koblet til en bufferbeholder.</p> <p>Anlægget bidrager primært til at forvarme varmt brugsvand i blokken og delvis til rumopvarmning, hvis varmtvandsforbruget er lavere end den genvundne varme.</p> <p>Samlet er der tale om et energioptimeret anlæg, der dog indeholder en række fordyrende komponenter og dyrt materialevalg.</p> <p>Der er yderligere etableret solcelleanlæg på bygningens tag. Dette er et PVT hybridanlæg, som er koblet til en anden 20 kW varmepumpe, der leverer en væsentlig del af rumvarmebehovet.</p>
Fakta	<p>Opført i 1966-68.</p> <p>Totalrenovering i 2015-18.</p> <p>Antal boliger, der modtager indvunden varme: 27</p> <p>Antal boliger der leverer spildevand: 39</p> <p>Antal beboere: ca. 65</p>
Oversigtskort	

Foto af spildevandsbrønde til varmegenvindingsanlægget. de er udført i rustri stål og isoleret udvendigt med PUR skum



Visualisering



Monitorering

Nedenstående tabel viser monitorerings data fra varmepumpeanlæg i Alabastern efter et år i drift.

<b>Energiforbrug til varmt brugsvand i bygningen (varmt brugsvand + varmetab)</b>	224.000	kWh/år
Årlig varmeproduktion	76.393	kWh/år
Årligt elforbrug til varmepumpe	18.473	kWh/år
Årligt elforbrug til cirkulationspumper	996	kWh/år
Energi optaget fra spildevand	57.920	kWh/år
COP samlet	3,8	-
COP varmepumpe	4,1	-
Dækning af varmt brugsvandsforbrug (varmt brugsvand + varmetab)	62%	
Samlet reduktion af energiforbrug fra fjernvarme	34%	
Varmeovergang	54	W/m <sup>2</sup> K

	Gennemsnitstemperaturen i spildevandet sænkes gennem anlægget fra 24,3°C til 6,6°C. Det medfører en udnyttelse på ca. 91% af energiindholdet i spildevandet i forhold til en delta T på 50°C opvarmning af varmt brugsvand.										
Økonomi	<p>Investeringsomkostninger til anlægget i Alabastern</p> <table border="1"> <tr> <td>Ecoclime Evertherm Unit</td> <td>741.598 kr.</td> </tr> <tr> <td>Udgravning/Landskabspleje</td> <td>240.120 kr.</td> </tr> <tr> <td>VVS-installationer</td> <td>54.458 kr.</td> </tr> <tr> <td>El-installationer</td> <td>186.945 kr.</td> </tr> <tr> <td><b>Samlet investeringsomkostning</b></td> <td><b>1.223.121 kr.</b></td> </tr> </table>	Ecoclime Evertherm Unit	741.598 kr.	Udgravning/Landskabspleje	240.120 kr.	VVS-installationer	54.458 kr.	El-installationer	186.945 kr.	<b>Samlet investeringsomkostning</b>	<b>1.223.121 kr.</b>
Ecoclime Evertherm Unit	741.598 kr.										
Udgravning/Landskabspleje	240.120 kr.										
VVS-installationer	54.458 kr.										
El-installationer	186.945 kr.										
<b>Samlet investeringsomkostning</b>	<b>1.223.121 kr.</b>										
Fordele	Afprøvet produkt. Den stærkt overdimensionerede plast-veksler medfører, at anlægget fungerer fint også ved tilsmudsning.										
Ulemper	Dyr i anlægsudgifter men med potentiale for at kunne reducere pris. Første brønds placering er afhængig af placering af afløbsledninger. Knive i knivpumpen skal vedligeholdes. Brønde og veksler skal spules med varmt vand.										
Anvendelses-områder	<p>Boligblokke og rækkehuse med fælles varmecentraler. Det anbefales at forsyne den samlede varmtvandsinstallation med anti-Legionella anlæg (elektrokemisk vandbehandling). Anlægget kan med fordel installeres, hvor der er solcellestrøm i overskud om sommeren, især ved afregningsgruppe 4.</p> <p>Anlægget er særligt egnet, hvor den fortrængte alternative varme er dyr dvs. områder med naturgasforsyning og i fjernvarmeområder, hvor det "faste" tariffidrag er gjort afhængig af det variable fjernvarmeforbrug.</p> <p>I mindre bebyggelser, hvor der i forvejen er en væske/vand varmepumpe, kan varmepumpen med fordel kombineres med en varmeveksler i en spildevandsbrønd.</p>										
Design kriterier	<p>COP ved fuld opvarmning af brugsvand ca. 3 inkl. 3 stk. spildevandspumper COP ved forvarmning af brugsvand 4-5, med frakoblet elvarmepatron Anlægget skal indreguleres omhyggeligt og overvåges af driften (via net-opkobling). Der bør være termostatisk beskyttelseshunt foran varmepumpen, hvis den er begrænset til max 20°C i brine-indløb. Brine kan med fordel frostsikres med IPA sprit.</p> <p>Spildevandsbrønde kan med fordel ændres til dobbeltvæggede PE-spildevandsbrønde som i Trigeparken. Disse brønde med isoleret låg yder tilstrækkelig varmeisolering.</p> <p>Buffertank med pumpe og omrører på spildevandet kan evt. spares.</p> <p>Ved nybyggeri kan varmeveksler indpasses i spildevandsbrønd, som alligevel skulle udføres, og man kan nøjes med 1 pumpebrønd, herved reduceres merprisen for varmegenvinding væsentligt.</p>										

Nøgletal	<p>Varmeovergang for varmeveksler kan regnes til ca. 54 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>15 kW varmepumpe med omdrejningsregulering passer til afløb fra 36-(100) lejligheder</p> <p>Brøndens volumen bør rumme omkring 8 timers vandforbrug.</p>
Vedligehold	<p>Over tid dannes en fedthinde på vekslerne, som kan fjernes ved spuling med varmt vand.</p> <p>Brøndene har et reservoir i pumpeumpen, som lejlighedsvis (hvert 1-2 år) kan tømmes med en slamsuger (dette er normal praksis for pumpebrønde).</p>
Forbedring	<p>Investeringsomkostninger kan reduceres ved anlægsforenkling og valg af PE i stedet for rustfrit stål. Prisen for anlægget i Växjö afspejler også, at den skal dække udviklingsomkostninger, og at der endnu ikke er tilstrækkelig konkurrence på disse løsninger.</p>

## 11 Potentiale og marked

### 11.1 Klimapolitisk potentiale:

I forbindelse med gennemførelse af regeringens klimapolitiske strategi blev der i forsommeren 2020 indgået to aftaler om hhv. en grøn affaldssektor og en klimaaftale for energi og industri. Det indgår som et af to centrale elementer i disse bredt funderede politiske aftaler, at mængden af forbrændingseget affald skal nedbringes med mindst 30% frem mod 2030, bl.a. gennem en mere effektiv affaldssortering og genanvendelse. Desuden indeholder energi-/industri-aftalen en målsætning om, at flest mulige af de ca. 450.000 nuværende naturgas- og olieopvarmede bygninger skal konverteres til "grøn fjernvarme" frem mod 2030, dvs. at alle de fossilt opvarmede bygninger, der ligger i nuværende eller fremtidige fjernvarmeområder, så vidt muligt skal konverteres til fjernvarme.

Den centrale udfordring for de helt eller delvis affaldsbaserede fjernvarmeselskaber er, at de frem mod 2030 skal forsyne mange tusinder nye kunder, samtidig med at en vigtig brændselskilde, nemlig affaldet, skal reduceres. Der er også udbredt politisk skepsis over for en fortsat massiv anvendelse af biomasse i fjernvarmen, der derfor i høj grad må satse på overskudsvarme, f.eks. fra Power-to-X anlæg, store varmepumper og geotermi.

Et vigtigt element i håndteringen af denne udfordring er, at gøre varmekonsumet hos slutkunderne mere effektivt. Der er fortsat et stort potentiale for at energieffektivisere bl.a. gennem bedre isolering af klimaskærm, mere effektive installationer og optimeret styring af varmeforsyningen, f.eks. gennem digitalisering. Men der er også et markant effektiviseringspotentiale i, at genanvende overskudsvarme fra husholdningernes spildevand.

Spildevand fra badeværelser, opvaske- og vaskemaskiner m.v. løber typisk ud gennem faldstammerne til kloaksystemet med en temperatur på 25-35°C. Undervejs til renseanlæggene afgiver spildevandet størstedelen af denne overskudsvarme til omgivelserne, fordi kloakrørene ikke er isoleret. Hvis overskudsvarmen i stedet bliver tappet i en veksler og udnyttet i en varmepumpe i bygningen, viser beregninger, at den genanvendte varme ofte vil være tilstrækkelig til næsten at kunne dække bygningens behov for opvarmning af varmt brugsvand, svarende til ca. 20-25% af det samlede varmebehov i bygningsmassen.

### 11.2 Energi- og boligpolitisk potentiale:

EU's kommende bygningsdirektiv vil ifølge EU-Kommissionens udkast stille krav om, at bygningerne fra 2027 skal være i stand til at indgå i en dynamisk og energieffektiv samdrift med forsyningen af varme og el. Målet er at nedbringe CO<sub>2</sub>-udledningen fra bygningerne, der udgør en væsentlig del af EU-landenes klimaaftryk. Maksimal udnyttelse af overskudsvarme fra spildevand kan blive et vigtigt bidrag til en mere energieffektiv drift af bygninger, og i kraft af EU-direktivet vil der formentlig være et betydeligt eksportpotentiale for danske leverandører af løsninger, hvis det gennem skalering af de teknologiske løsninger,

der er testet i projektet, kan lykkes at nedbringe anlægsomkostningerne til et konkurrencedygtigt niveau.

Regeringen, KL og BL – Danmarks almene Boliger har indgået en ny effektiviseringsaftale for perioden 2021-2026. Aftalen forudsætter, at de almene boligorganisationer samlet effektiviserer deres drift med 1,8 mia. kr. frem til 2026. Af dette mål ventes en overopfyldelse af den første aftale (2014-2020) at bidrage med de første 200-500 mio. kr., mens energieffektivisering skal reducere driftsudgifterne med 300 mio. kr. I et bilag 5 til aftalen hedder det bl.a.:

**“Ny pulje til forsøg med bæredygtige løsninger og digitalisering på 200 mio. kr.:** På baggrund af de gode erfaringer med tidligere forsøgsordninger får Landsbyggefonden adgang til at støtte forsøg, udvikling og implementering af bæredygtige løsninger i det almene byggeri såsom forsøg med opvarmning af større bygninger med varmepumper. Det samlede energiforbrug (el- og varme-forbrug) i den almene boligsektor skønnes at udgøre omkring 6 mia. kr. årligt. I lyset af det store potentiale for energioptimering i den almene boligsektor og i forlængelse af initiativerne i boligaftalen 2020 forventes det, at der i perioden 2021-2026 vil blive energirenoveret svarende til i hvert fald 5 procent af det årlige energiforbrug opgjort med udgangspunkt i baseline-forbruget for de almene boligafdelinger i 2020. Det svarer til 300 mio. kr.”



## 12 Formidling

Projektgruppen har på grundlag af de indledende måleresultater i 2021 udarbejdet en nyhedsartikel til ELFORSK, som er gengivet i afsnit 13 (Appendiks).

I forbindelse med udarbejdelse af slutrapporten har projektgruppen gennemført en række tekniske og driftsøkonomiske evalueringer af resultaterne fra de 3 demonstrationsanlæg i Växjö og Aarhus. Disse evalueringer vil blive formidlet i endnu en artikel til ELFORSK og til energirelevante webmedier, f.eks. Energy Supply. Denne artikel vil blive produceret i løbet af marts 2022.

Projektgruppen planlægger i forståelse med ELFORSK at gennemføre/ deltage i et webinar med deltagelse af energi- og klimaekspertter fra den almene boligsektor, større VVS-firmaer og leverandører af nøglekomponenter til de udviklede tekniske løsninger.

I forlængelse af dette webinar kan der blive udarbejdet yderligere informationsmateriale, som deltagerne i webinarret kan bruge i deres videre arbejde med at udnytte projektresultaterne.

I samarbejde med Fagbladet Boligens redaktion vil projektgruppen i løbet af foråret stille de vigtigste informationer til rådighed for redaktionen, så der kan blive formidlet en artikel, målrettet de almene boligorganisationer. Her vil der udover en opsummering af de vigtigste driftstekniske og bruger-økonomiske resultater også blive fokuseret på de særlige finansieringskilder i den almene boligsektor, der kan gøre implementering af flere forsøgs- og demonstrationsprojekter beboerøkonomisk attraktive.



## 13 Markedsudviklingsstrategi

Evalueringen af de to teknologisk forskellige anlægskoncepter med hhv. etablering af ny spildevandsbrønd og udskiftning af en del af en faldstamme med en varmeveksler i samme dimension viser, at der er et betydeligt markedspotentiale. Det gælder især, hvis det gennem øget afsætning (skalering) lykkes at øge produktiviteten i produktion af nøglekomponenter og installation af det samlede anlæg.

### 12.1. Initiativer for produktivitetsforbedring

Med de initiale anlægsomkostninger, der har været gældende for de 4 udviklings- og demonstrationsanlæg i projektet, er konceptet for udnyttelse af overskudsvarme fra spildevand udfordret - især i de fjernvarmeområder, der p.t. er begunstiget af lave varmepriser, f.eks. HOFORs forsyningsområde i hovedstadsområdet og de store fjernvarmebyer (Aarhus, Odense, Aalborg og Esbjerg).

En markedsstrategi for udbredelsen af dette koncept må derfor baseres på et tættere samarbejde mellem forsyningsselskaber/leverandører af konceptets nøglekomponenter og potentielle systemleverandører, f.eks. nogle af de større VVS-firmaer. Formålet vil være at opnå en mere effektiv produktions- og installationsproces, der kan nedbringe de samlede anlægsomkostninger.

For konceptet med kappevarmeveksler integreret i faldstammer i etagebyggeri er det projektgruppens vurdering, at markedsstrategien bør sigte på at få gennemført nogle større projekter, der medfører en øget afsætning, der kan give producenter af kappevarmevekslere og VVS-installatører mulighed for at reducere projektkomkostningerne. Der er flere muligheder i den sammenhæng, som omtales i afsnit 12.2.

### 12.2. Fokus på markedsmuligheder

Da der i dette projekt har været arbejdet med innovative anlægskoncepter, der ikke tidligere er tilstrækkeligt afprøvet, er det projektgruppens vurdering, at konceptet befinder sig på et relativt tidligt trin i læringskurven, og at der er et betydeligt effektiviseringspotentiale for pris/ydelsesforholdet, der kan fremmes gennem et tættere samarbejde og øget afsætning.

I den næste fase er der derfor behov for at skabe opmærksomhed om det langsigtede markedspotentiale, så de produktions- og installationsvirksomheder, der har de nødvendige ressourcer til at effektivisere anlægskonceptet, bliver interesseret i at udnytte potentialet. Projektet i Trigeparken har testet en spildevandsbrønd med nøglekomponenter fra Grundfos, og der er efter projektgruppens vurdering et betydeligt yderligere potentiale for at nedbringe de samlede anlægsomkostninger i dette koncept, hvis denne virksomhed får interesse i at udnytte markedsmulighederne i bl.a. den almene boligsektor.

Projektgruppen vil gennem et planlagt webinar for både de potentielle slutkunder i den almene boligsektor og for potentielle private virksomheder forsøge at

skabe denne opmærksomhed. Desuden vil projektgruppen følge den afsluttende evaluering op med at formidle resultaterne i de webmedier, der formidler til de relevante private virksomheder og potentielle slutkunder.

### 12.3. Gunstige finansieringsmuligheder i den almene boligsektor

Projektgruppen erkender, at der i en videre udviklingsfase vil være behov for at tilføre nye projekter en mere fordelagtig finansiering end den rent kommercielle med 20-30-årige realkreditlån, der har vist sig at medføre en ret udfordrende rentabilitet i mange fjernvarmeforsynede områder. Men da der er skabt et betydeligt behov for energieffektivisering af den eksisterende bygningsmasse gennem den klimapolitiske målsætning om at reducere de danske udledninger af drivhusgasser med 70% i perioden 1990-2030, bør der kunne skabes bred opbakning til at fremme anvendelsen af sådanne mere fordelagtige finansieringspakker.

Her kan der bl.a. peges på, at der i regeringens effektiviseringsaftale for 2021-2026 med KL og BL – Danmarks almene Boliger er åbnet mulighed for, at Landsbyggefonden kan "støtte forsøg, udvikling og implementering af bæredygtige løsninger i det almene byggeri såsom forsøg med opvarmning af større bygninger med varmepumper".

Landsbyggefondens finansiering af den type projekter er i den boligpolitiske aftale fra 2020 fastsat til en årlig ydelse på 3,6% inkl. bidrag, og vil umiddelbart kunne gøre de næste projekter beboerøkonomisk mere rentable. Der er afsat en ramme på 200 mio. kr. til dette formål, og udnyttelse af spildevandets overskudsvarme gennem varmeveksler og varmepumpe ligger præcist inden for målsætningen med denne nye forsøgspulje.

Effektiviseringsaftalen 2021-2026 lægger i forvejen et betydeligt pres på de almene boligorganisationer, fordi de "lavthængende frugter" i høj grad er høstet i den første aftale fra 2014-2020. Det indgår i den nye aftale, at beboernes varme- og elforbrug kan indregnes i de opnåede effektiviseringer. En udnyttelse af dette besparelspotentiale vil derfor aflaste behovet for andre initiativer, der kan være mere udfordrende for ønsket om at opretholde en god beboerservice i de almene boligafdelinger.

Almene boligorganisationer kan også anvise andre veje til at gøre finansiering af denne type projekter beboerøkonomisk mere rentable. Projekter, der er egnet til at gøre almene boligafdelinger klima- eller miljømæssigt mere bæredygtige, kan opnå anlægstilskud fra boligorganisationernes konti i Landsbyggefondens pulje fra de pligtmæssige indbetalinger, de såkaldte trækingsretsmidler. Her er der akkumuleret et betydeligt beløb i ikke-disponerede midler (ved udgangen af 2020 et beløb på mere end 2 mia. kr.). Boligorganisationerne kan med tilskud fra disse konti på op til 2/3 af anlægsomkostningerne gøre det afprøvede koncept beboerøkonomisk attraktivt i de første år og dermed bane vej for en øget afsætning, der på lidt længere sigt kan gøre konceptet konkurrencedygtigt - også i fjernvarmeområder med relativt lave varmepriser.

Mange ældre almene boligafdelinger vil i de kommende år få behov for at udskifte eller renovere faldstammer fra køkkener og badeværelser, hvor mængden af overskudsvarme i spildevandet typisk er høj.

Udnyttelse af overskudsvarme fra spildevand er som beskrevet i afsnit 8.1.3 på side 41-42 en oplagt mulighed i nybyggeri, hvor konceptet kan bidrage til at opfylde energirammen på en mere omkostningseffektiv måde end f.eks. ekstra isolering af klimaskærmen.

Herudover er det oplagt at indtænke konceptet i forbindelse med de mange helhedsplaner, der er planlagt eller undervejs i den almene boligsektor. Landsbyggefonden har i den boligpolitiske aftale fra 2020 fået adgang til at medfinansiere et meget stort antal helhedsplaner i utidssvarende boligafdelinger. Her er der indført et krav om grøn screening eller revurdering, der skal identificere potentialet for en ekstra energieffektivisering inden for en udvidet ramme på 5% af helhedsplanernes anlægsbudget.

Der ligger derfor også en vigtig formidlingsopgave over for de boligorganisationer og bygherre-rådgivere, der i de kommende år skal realisere disse helhedsplaner.

Det vil derfor være en central del af en kommende markedsudviklingsstrategi at etablere et tæt samarbejde med den almene boligsektor. Strategien bør omfatte en målsætning om, at de næste projekter gennem en supplerende finansiering kan bane vej for den effektivisering, der kan gøre udnyttelse af overskudsvarme fra spildevand konkurrencedygtigt. Det gælder både i anden form for etagebyggeri (private andelsboligforeninger, privat udlejningsbyggeri og ejerboliger) og på det europæiske eksportmarked fremover.

## 14 Appendiks

Appendiks indeholder den følgende materialer:

- Artikel om ELFORSK spildevand projekt.
- Datablad af METRO THERMs Microooster varmepumpe implementeret i Rydevænget.
- Datablad af METRO THERMs Metrosaver MB F varmepumpe implementerer i Trigeparken.
- Datablad af GRUNDFOS pumpebrønd implementeret i Trigeparken.

### 14.1 Artikel i ELFORSK nyt

<https://elforsk.dk/nyheder/projektresultat/spildevand-fra-boliger-vaerdifuld-varmekilde>

## Spildevand fra boliger en værdifuld varmekilde

21. FEBRUAR 2022

### PROJEKTRESULTAT



*Et kig ned til brønden i varmegenvindingsanlægget i Trigeparken.  
Foto: COWI.*

De første tests, fra et ELFORSK-projekt, viser at op mod en fjerdedel af boligens varmeforbrug kan spares med et genvindingsanlæg.

Når familien Danmark går i bad, sætter vaskemaskine eller opvaskemaskine i gang, skal der bruges energi til at varme vandet op til en passende temperatur. Efter afsluttet vask/bad sendes vandet ud i kloak systemet, hvor det havner i et renseanlæg. Temperaturen i spildevand fra boliger ligger typisk på 25-30 grader, og undervejs til renseanlægget afgiver spildevandet hovedparten af denne varme til omgivelserne.

### **Spildvarme kan dække 25% af varmekonsumet**

Ligesom det er blevet almindeligt at efterisolere eksisterende bygninger for at mindske "fyring for fuglene", bør det også blive lige så almindeligt at udnytte varmen i spildevandet, før det sendes ud i kloaksystemet til glæde for rotter og andre underjordiske væsener.

Rådgivervirksomheden, COWI, som deltager i projektet, har vurderet ud fra registreringer af driftsdata fra et genvindingsanlæg beregnet, at den genvundne varme fra spildevandet i en typisk etageejendom kan dække distributionstab i varmesystemet samt varmekonsum til varmt brugsvand. Op mod en fjerdedel af boligens varmekonsum kan spares med et sådant anlæg.

Det er baggrunden for at ELFORSK-projektet er blevet støttet med midler til målinger og analyser af nogle pilotanlæg, hvor der gennemføres de første fysiske målinger af sådanne genvindingsanlæg. Det sker i projektet "Genvinding af varme i spildevand i kombination med varmepumpe(r) – målinger", hvor COWI frem til foråret 2022 vil registrere elforbrug og varmeproduktion fra anlæggets varmeveksler og varmepumpe.

Projektet har vurderet ud fra driftsdata fra et genvindingsanlæg, at den genvundne varme fra spildevandet i en typisk etageejendom kan dække distributionstab i varmesystemet samt varmekonsum til varmt brugsvand.

### **Målinger på tre pilotanlæg**

I 2020 er anlægget installeret i tre boligbebyggelser: i Alabasternkvarteret i den svenske by Växjö og i Boligforeningen Ringgårdens Trigeparken i Aarhus, hvor COWI i forvejen gennemfører et større EU-støttet READY-projekt for energieffektivisering. Desuden er der etableret et anlæg i en anden af boligforeningens afdelinger Rydevænget.

For at optimere projektets driftserfaringer er der etableret tre lidt forskellige anlæg. I Växjö er der siden marts 2020 blevet målt på et effektivt, men relativt dyrt anlæg til en samlet pris på ca. 1,4 mio. DKK. Den samlede systemværdi er målt til en COP-værdi på op til 4,5, dvs. at der for hver kWh elforbrug i anlægget leveres op til 4,5 kWh varme. Anlægget har i de første måneder dækket ca. 28% af varmekonsumet i 39 boliger.

Boligforeningen Ringgården har benyttet et mere enkelt og billigere anlægskoncept. Her tappes overskudsvarme fra 4 boligblokke med 36 boliger. Med en varmeveksler og en varmepumpe

fra METRO THERM er der siden oktober 2020 leveret varme til halvdelen af boligerne.

I Rydevænget er overskudsvarmen i spildevand fra 2 faldstammer, der betjener 12 boliger, blevet udnyttet siden december 2020 med en modificeret mikro varmepumpe, der leverer varmt vand ind på stigestrengen for brugsvandsystemet.

### **Rentabel energieffektivisering**

På baggrund af de første driftserfaringer er de foreløbige vurderinger, at et genvindingsanlæg til en boligbebyggelse med 40-50 boliger kan etableres for ca. 500.-600.000 kr. inkl. moms. Det gør en sådan investering beboerøkonomisk rentabel i kraft af det aktuelle lave renteniveau, ikke mindst i områder med naturgasforsyning og områder med relativt høje fjernvarmepriser. Varmepumpen kan med fordel for en stor del drives af billig strøm fra solceller i kombination med en varmtvandsbeholder som lager. I nybyggeri kan anlægskonceptet bidrage til at opfylde energirammen mere omkostningseffektivt end mange alternative løsninger.

Cowi er projektleder for projektet, der udvikles i et samarbejde mellem METRO THERM A/S, KAB - Bygge- og Boligadministration, Stengården, afd. 8 under Stenløse-Ølstykke Boligforening og kommunikationsfirmaet Rubrik. Projektet afsluttes i foråret 2022, hvor slutrapporten kan hentes på

## 14.2 METRO THERM – Microbooster - Datablad

Parameter	Unit	F-E	F-R	FV-E	FV-R	FS-E	FS-R
<b>Electrical data</b>							
Power supply	V/Hz	230/50					
Fuse	A	13 (10)					
Electric connections	-	L1, N, G					
Electric heater power	W	1500					

<b>Refrigerant and water circuit</b>							
Refrigerant type	-	R134a					
Refrigerant quantity	g	1220					
GWP	-	1430					
CO2 equivalent	ton	1.7					
Refrigerant circuit	-	Hermetically sealed					
Protection rating	-	IP21					
Water connections - enamelled	in	¾ - BSPT (ISO 7-1)					
Water connections - stainless	mm	22 - Compression fittings					
Heat source connections	mm	22 - Compression fittings					

Parameter	Unit	F-E	F-R	FV-E	FV-R	FS-E	FS-R
<b>Operating limits</b>							
Max. compressor power	W	600					
Max. water temperature (heat pump only)	°C	65					
Max. water temperature (heat pump and electric water heater)	°C	65					
Min. required heat source flow	l/h	100					
Max. domestic hot water pressure	MPa	1.0					
Max. allowed heat source pressure	MPa	0.3		1.0		0.3	
Max. available pressure difference	kPa	20		600		20	

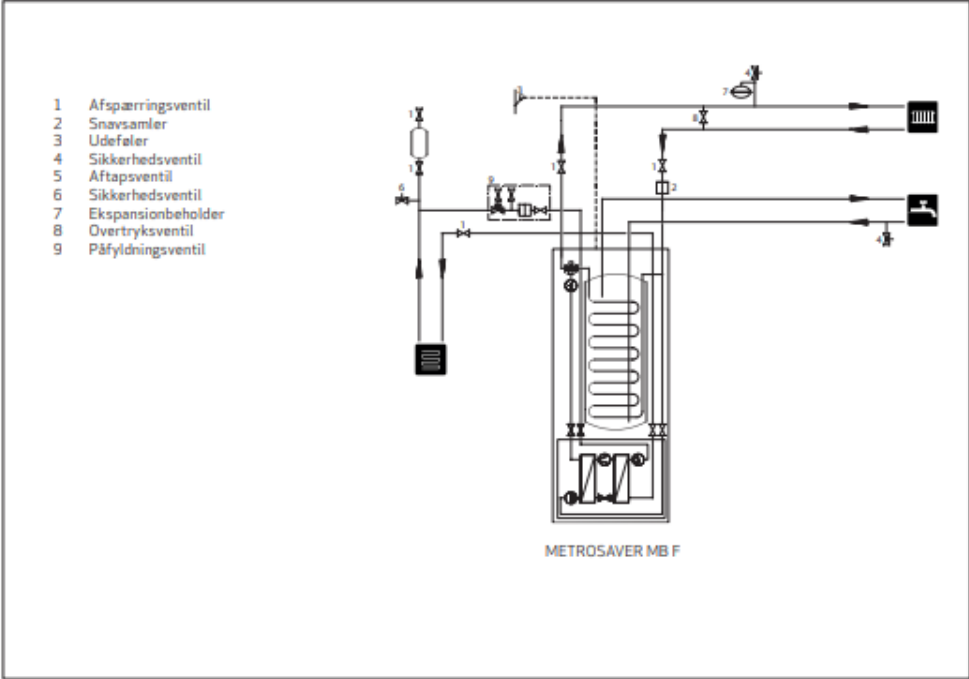




## 14.3 METRO THERM – METROSAVER MB F - Datablad

# METROSAVER MB F

## Datablad




EKSPERTER I VARME OG VARMT VAND



Supplier's name:	<b>METRO THERM A/S</b>		
Model:	<b>Metrosaver MB F6</b>		
Temperature application	35	55	°C
Declared load profile for water heating	XL		
Seasonal space heating energy efficiency class, average climate:	<b>A+++</b>	<b>A+++</b>	
Water heating energy efficiency class, average climate:	<b>A</b>		
Rated heat output, average climate:	5,5	5,5	kW
Annual energy consumption for space heating, average climate	2188	2875	kWh
Annual electricity consumption for water heating, average climate	1642		kWh
Seasonal space heating energy efficiency, average climate:	200	150	%
Water heating energy efficiency, average climate:	102		%
Sound power level LWA indoors	42		dB
Rated heat output, cold climate:	5,5	5,5	kW
Rated heat output, warm climate:	5,5	5,5	kW
Annual energy consumption for space heating, cold climate	2481	3287	kWh
Annual electricity consumption for water heating, cold climate	1642		kWh
Annual energy consumption for space heating, warm climate	1408	1852	kWh
Annual electricity consumption for water heating, warm climate	1642		kWh
Seasonal space heating energy efficiency, cold climate:	211	157	%
Water heating energy efficiency, cold climate:	102		%
Seasonal space heating energy efficiency, warm climate:	201	151	%
Water heating energy efficiency, warm climate:	102		%
Sound power level LWA outdoors	-		dB

**Data for package fiche**

Controller class	VII		
Controller contribution to efficiency	3,5		%
Seasonal space heating energy efficiency of package, average climate:	204	154	%
Seasonal space heating energy efficiency class for package, average climate:	<b>A+++</b>	<b>A+++</b>	%
Seasonal space heating energy efficiency of package, cold climate:	215	161	%
Seasonal space heating energy efficiency of package, warm climate:	205	155	%

<b>Model(s):</b>				<b>Metrosaver MB F6</b>								
Type of heat source/sink:				Brine-to-water								
Low-temperature heat pump:				No								
Equipped with supplementary heater:				Yes								
Heat pump combination heater:				Yes								
Climate condition:				Average								
Temperature application:				Medium temperature (55 °C)								
Applied standards: EN14825 and EN16147												
<b>Rated heat output</b>				Prated	5,5	kW		<b>Seasonal space heating energy efficiency</b>				
								$\eta_s$	150	%		
<i>Declared capacity for part load at outdoor temperature Tj</i>								<i>Declared coefficient of performance for part load at outdoor temperature Tj</i>				
Tj = -7 °C	Pdh	5,0	kW		Tj = -7 °C	COPd		3,06	-			
Tj = +2 °C	Pdh	3,0	kW		Tj = +2 °C	COPd		3,97	-			
Tj = +7 °C	Pdh	2,0	kW		Tj = +7 °C	COPd		4,63	-			
Tj = +12 °C	Pdh	1,2	kW		Tj = +12 °C	COPd		4,86	-			
Tj = biv	Pdh	5,4	kW		Tj = biv	COPd		2,84	-			
Tj = TOL	Pdh	5,4	kW		Tj = TOL	COPd		2,84	-			
Tj = -15 °C (if TOL < -20 °C)	Pdh		kW		Tj = -15 °C (if TOL < -20 °C)	COPd			-			
Bivalent temperature				T <sub>biv</sub>	-10	°C		Operation limit temperature				
Cycling interval capacity for heating				P <sub>cyh</sub>		kW		Cycling interval efficiency				
Degradation co-efficient				C <sub>dh</sub>	0,99	-		temperature				
								WTOL	65	°C		
<i>Power consumption in modes other than active mode</i>								<i>Supplementary heater</i>				
Off mode	P <sub>OFF</sub>	0,002	kW		Rated heat output				P <sub>sup</sub>	0,1	kW	
Thermostat-off mode	P <sub>TD</sub>	0,007	kW		Type of energy input				Electric			
Standby mode	P <sub>SB</sub>	0,007	kW									
Crankcase heater mode	P <sub>CK</sub>	0,009	kW									
<i>Other items</i>												
Capacity control	fixed			Rated air flow rate, outdoors				m <sup>3</sup> /h				
Sound power level, indoors/outdoors	L <sub>WA</sub>	42/-	dB		Rated brine or water flow rate, outdoor heat exchanger				0,68 m <sup>3</sup> /h			
Annual energy consumption	Q <sub>HE</sub>	2875	kWh									
<i>For heat pump combination heater:</i>												
<b>Declared load profile</b>				<b>XL</b>				<b>Water heating energy efficiency</b>				
								$\eta_{wh}$				
								102				
								%				
Daily electricity consumption	Q <sub>elec</sub>	7,48	kWh		Daily fuel consumption				Q <sub>fuel</sub>	kWh		
Annual electricity consumption	AEC	1642	kWh		Annual fuel consumption				AFC	GJ		
<b>Approved by:</b>												
<b>Contact details</b>				METRO THERM A/S Rundinsvej 55 DK-3200 Helsingør www.metrotherm.dk								

## 14.4 GRUNDFOS – Spildevandsbrønd - Datablad

Databladet viser standard dobbeltvæggede PE pumpebrønde. Veksleren kan installeres ind i brønden.

Section view A-A

Section view B-B

Isoleret dæksel

Approved by customer

Pos	Description
1	Gate valve flanged DN80
2	Non-return ball valve DN80
3	Outlet pipe D90 PE
4	Pressure pipe DN80 316
5	Guide pipes DN40 316
6	Pump SEV.65.65

GRUNDFOS  
PS M.W.20.28 SEV65 L  
C31 PT

99890495

Front view

Side view

Approved by customer

Pos	Description
1	Gate valve flanged DN80
2	Non-return ball valve DN80
3	Outlet pipe D90 PE
4	Pipe f. levelcontrol D110
5	Pressure pipe DN80 316
6	Guide pipes DN40 316
7	Pump SEV.65.65

GRUNDFOS  
PS A.12.48 SLV65 LC2  
31 PT

99890408