

Final report

1. Project details

Project title	Optimization of large heat pumps using ambient air
File no.	64019-0035
Name of the funding scheme	EUDP Energy Technology Development and Demonstration Programme
Project managing company / institution	Innoterm A/S
CVR number (central business register)	40372938
Project partners	DTI Danish Technological Institute, Teknologisk Institut DTU Technical University of Denmark, Danmark Tekniske Universitet PlanEnergi Fincoil Luvé OY Fjernvarme Fyn Brædstrup Fjernvarme
Submission date	16 May 2023

2. Summary

English version:

Objectives of the project

Large heat pumps in the district heating network are an important element in phasing out fossil fuels. Since the electricity production subsidy for district heating plants in Denmark is no longer available, the district heating plants are experiencing a pressure on the district heating price, which challenges the competitiveness. A heat pump using ambient air as a heat source is a flexible and simple solution, since ambient air is available everywhere, and it is less expensive to install compared to other heat sources.

However, using air as a heat source presents some challenges in terms of frosting of the evaporator and noise. Problems regarding frosting and defrosting of the evaporator pose a risk in terms of operational failures and have a significant influence on the energy efficiency of the heat pump.

The purpose of the project is to optimize and develop the evaporator design and control of the heat pump in relation to frosting, defrosting and noise.

Obtained results

Initial knowledge collection has mapped collected basic knowledge about small and large outdoor air heat pumps, as well as described which elements can/should be included in a complete process from start to finish for the establishment of a large outdoor air heat pump for district heating purposes.

CFD calculations have provided a lot of good insight into recirculation conditions for cooled air in relation to different weather conditions.

Simulations have given very good insight into how a specific evaporator for outdoor air performs in relation to variations on the refrigerant side and on the air side during both operation and defrosting.

An extensive measurement program has been carried out after installation and start-up of a heat pump installation with 20 outdoor air evaporators in Brædstrup. The heat pump has a heating output of approx. 6 MW. Review and analysis of the many measurements has provided very good insight into matters of importance for the optimization of evaporator systems during operation and defrosting. The work has given rise to the development of an intelligent management of hot gas defrosting for the plant, which both optimizes defrosting and minimizes energy consumption.

It was originally intended that the project results should result in the development and demonstration of a heat pump module of approx. 1 MW, but due to a change of ownership for Innoterm during the project period, this plan has unfortunately not been realized in the project.

Throughout the course of the project, the project results have been disseminated to the Danish district heating industry with presentations at various national dissemination events, as well as internationally through articles and presentation at an international conference.

In summary, the yield and result of the project can be described in the following words: We have learned a great deal about outdoor air evaporators in this project. Using outdoor air as a heat source for large outdoor air heat pumps is "not quite so straightforward". Recirculation and frosting must be taken into account when calculating the evaporator performance. Air flow upwards or downwards has both advantages and disadvantages. A low circulation number on the ammonia has a positive influence on the evaporator performance. Measurement of the weight of evaporators, the absorbed electrical power of the fans, and fin temperature provide useful information for use in managing defrosting. Intelligent control of hot gas defrosting based on start and stop signals from a "master evaporator" can ensure efficient defrosting with minimal energy consumption. We are not quite there yet - there is still a need for further project work in relation to optimisation.

Utilization in the future

The insight and knowledge that participation in the project has given the project participants will of course be utilized by each of them in connection with the establishment and optimization of operation and defrosting on new installations. District heating companies that either have or are about to acquire outdoor air heat pumps have the opportunity to utilize the experience gained from the project to optimize these installations.

Dansk version:

Mål for projektet

Store varmepumper i fjernvarmenettet er et strategisk element i udfasningen af fossile brændsler. I forbindelse med bortfaldet af grundbeløbet til kraftvarmeværkerne oplever værkerne et pres på fjernvarmeprisen, der udfordrer konkurrenceevnen. Varmepumper med udeluft som varmekilde udgør en fleksibel og enkel løsning, da udeluft er tilgængelig overalt og samtidig er mindre omkostningstung at installere sammenlignet med andre varmekilder.

Men luft som varmekilde giver en række udfordringer – både med hensyn til tilrimning af fordamperen og med hensyn til støj. Problematikker omkring tilrimning og afrimning af fordamperen udgør en risiko i forhold til driftsmæssige udfald og har en signifikant indflydelse på varmepumpens energieffektivitet.

Projektets formål er at optimere og udvikle varmepumpens fordamperdesign og styring i forhold til tilrimning, afrimning og støj.

Opnåede resultater

Indledende videnindsamling har kortlagt indsamlet basisviden om små og store udeluftvarmepumper, samt beskrevet hvilke elementer der kan/bør indgå i et komplet forløb fra start til slut for etablering af en stor udeluftvarmepumpe til fjernvarmeformål.

CFD-beregninger har givet megen god indsigt i recirkulationsforhold for afkølet luft i forhold til forskellige vejrforhold.

Simuleringer har givet meget god indsigt hvordan en specifik fordamper for udeluft performer i forhold til variationer på kølemiddelsiden og på luftsiden under både drift og afrimning.

Et omfattende måleprogram er blevet gennemført efter installation og opstart af en varmepumpeinstallation med 20 udeluftfordampere i Brædstrup. Varmepumpen har en varmeydelse på ca. 6 MW. Gennemgang og analyse af de mange målinger har givet meget god indsigt i forhold af betydning for optimering af fordamperanlæg under drift og afrimning. Arbejdet har givet anledning til udvikling af en intelligent styring af varmgasafrimning til anlægget, som både optimerer afrimning og minimerer energiforbrug.

Det var oprindeligt hensigten at projektresultaterne skulle munde ud i udvikling og demonstration af et varmepumpemodul på ca. 1 MW, men pga. et ejerskifte for Innoterm i løbet af projektperioden er denne plan desværre ikke blevet realiseret i projektet.

Gennem projektfølget har projektresultaterne været formidlet til den danske fjernvarmebranche med indlæg på diverse nationale formidlingsarrangementer, samt internationalt gennem artikler og præsentation på en international konference.

Sammenfattende kan udbyttet og resultatet af projektet beskrives med efterfølgende ord: Vi har lært rigtig meget om udeluftfordampere i dette projekt. Anvendelse af udeluft som varmekilde til store udeluftvarmepumper er "ikke helt så ligetil". Der skal tages hensyn til recirkulation og tilrimning ved beregning af fordamperydelsen. Luftflow opad eller nedad har både fordele og ulemper. Lavt cirkulationstal på ammoniakside har positiv indflydelse på fordamperydelsen. Måling af vægt af fordampere, blæsernes optagne elektriske effekt, samt finnetemperatur giver nyttig information til brug for styring af afrimning. Intelligent styring af varmgasafrimning baseret på start- og stopsignaler fra en "masterfordamper" kan sikre effektiv afrimning med minimalt energiforbrug. Vi er ikke helt i mål endnu - der er stadig behov for yderligere projektarbejde i forhold til optimering.

Udnyttelse i fremtiden

Den indsigt og viden, som deltagelsen i projektet har givet projektdeltagerne, vil givetvis blive udnyttet af hver især i forbindelse med etablering og optimering af drift og afrimning på nye installationer. Fjernvarmeselskaber, der enten har eller skal til at anskaffe udeluftvarmepumper har mulighed for at udnytte erfaringerne fra projektet til at optimere disse installationer.

3. Project objectives

English version:

Objective of the project

The purpose of this project is to develop and demonstrate new innovative solutions that both address the challenges that have been identified on the market regarding large heat pumps using ambient air and to ensure the deployment of this type of heat pump to smaller district heating plants, where other heat sources are either not available or cannot be used. In district heating systems, heat pumps are one of the most central solutions in the future fossil-free society. However, the prevalence of heat pumps is challenged today – especially because the choice of heat source is typically limited to sea water or waste heat. The plants that will be installed in the future in non-coastal areas will typically be based on other heat sources, including air. But air presents a number of challenges – both in terms of noise and frosting of the evaporator. Therefore, it is crucial for the roll-out of the heat pumps that new energy-efficient solutions are developed and demonstrated in order to ensure an optimal return on the investments made by the district heating plants.

Developed and demonstrated energy technology

The project has primarily resulted in the participants gaining a great deal of insight into and knowledge of how outdoor air evaporators for large heat pumps work during operation and defrosting. The new insight and knowledge gained can be used by district heating companies, consultants, implementing companies and suppliers for better planning, design and optimization of new installations, as well as for improving operation and defrosting of existing installations.

The developed and demonstrated intelligent control of hot gas defrosting in the project is both important for the evaporators to perform as much as possible during the operating periods without too much ice/frost on the fins, and that the defrosting is effective in the shortest possible time, whereby the energy consumption for this is also minimized.

The developed defrost control is based on start and stop signals from a single "master evaporator", which is used to control all evaporators on the installation. The control allows you to select one or more different start and stop signals. At the time of completion of the project, it was the electrical consumption of the fan motors that seemed to give the best signal to start defrosting and the fin temperature seemed to give the best signal to stop defrosting.

Dansk version:

Formålet med projektet

Formålet med dette projekt er at udvikle og demonstrere nye innovative løsninger, der både adresserer de udfordringer, der er identificeret på markedet vedrørende store varmepumper, der anvender omgivende luft, og at sikre udbredelsen af denne type varmepumper til mindre fjernvarmeverker, hvor andre varmekilder er enten ikke tilgængelige eller kan ikke bruges. I fjernvarmeanlæg er varmepumper en af de mest centrale løsninger i fremtidens fossilfri samfund. Udbredelsen af varmepumper er dog udfordret i dag – især fordi valget af varmekilde typisk er begrænset til havvand eller spildvarme. De anlæg, der i fremtiden vil blive installeret i ikke-kystnære områder, vil typisk være baseret på andre varmekilder, herunder luft. Men luft giver en række udfordringer – både hvad angår støj og frosting af fordampere. Derfor er det afgørende for udrulningen af varmepumperne, at der udvikles og demonstreres nye energieffektive løsninger for at sikre et optimalt afkast af de investeringer, som fjernvarmeverkerne foretager.

Udviklet og demonstreret energiteknik

Projektet har først og fremmest resulteret i at deltagerne har fået tilført meget stor indsigt i og viden om hvordan udeluftfordampere til store varmepumper fungerer under drift og afrimning. Den opnåede nye indsigt og viden kan bruges af fjernvarmeselskaber, rådgivere, udførende firmaer, samt leverandører til bedre projektering, design og optimering af nye installationer, samt til forbedring af drift og afrimning på eksisterende anlæg.

Den udviklede og demonstrerede intelligente styring af varmgasafrimning i projektet har både betydning for at fordampere yder mest muligt i driftsperioderne uden for meget is/rim på finnerne, samt at afrimningen er effektiv på kortest mulig tid, hvorved energiforbruget hertil også minimeres.

Den udviklede afrimningsstyring er baseret start- og stopsignaler fra en enkelt "masterfordamper", der benyttes til styringen af alle fordampere på installationen. Styringen giver mulighed for at vælge ét eller flere forskellige start- og stopsignaler. På tidspunktet for afslutning af projektet var det blæsemotorernes elforbrug, der syntes at give det bedste signal til start af afrimning og finnetemperaturen, der syntes at give det bedste signal til stop af afrimningen.

4. Project implementation

English version:

The progress of the project

Overall, the project has progressed more or less according to plan. The biggest content-related change in the project has been that, unfortunately, it was not possible to develop a standard product of approx. 1 MW.

The project management has functioned well with regular project management and project meetings, where management decisions have been taken on an ongoing basis, project activities budget and schedule have been followed up on, and various actions have been agreed.

Risks in project implementation

It was anticipated that there could be difficulties in developing a demonstration plant, as well as finding a host for the demonstration plant.

The desire and interest in developing a standard product with approx. 1 MW heating output changed when Innoterm was bought by Exodraft during the course of the project, which resulted in the decision not to develop a factory-built standard product for various reasons. Thereby the foreseen risks disappeared.

Project progress in relation to plan and milestones

Some adjustments have been made along the way in relation to the budget, schedule, project participants and mileposts.

Immediately at the start of the project, Løgumkloster Fjernvarme was replaced as a project participant by Brædstrup Fjernvarme, but otherwise the group of participants has remained the same throughout the process. Luve S.p.A. in Milan last participated in the process together with the Danish representative of Fincoil Luve Oy.

In the course of the project, there have been some mutual rescheduling of hours and costs in order to adapt the project activities in relation to the involvement of the project participants.

The project's start and end times have both been moved in relation to the schedule in the application. The project started in October 2019 (1/9 2019 indicated in the application) and ended 30/11 2022 (1/3 2022 indicated in the application).

Unforeseen conditions and problems in the course of the project

Innoterm's financial administration of the project has been influenced by changing financial staff.

Exodraft's purchase of Innoterm has influenced the interest in developing a standard product of approx. 1 MW.

There have been conflicts of interest between Innoterm, Luve and Brædstrup Fjernvarme, which at one point caused Luve to withdraw from the project.

The competitive situation has changed significantly over the course of the project.

The issues regarding the lack of gas supply from Russia, as well as the war in Ukraine, have caused a great need and desire for more collective heat supply - i.a. with large outdoor air heat pumps.

Dansk version:

Projektets forløb

Overordnet set er projektet forløbet nogenlunde efter planen. Største indholdsmæssige ændring i projektet har været at det desværre ikke lykkedes at få udviklet et standardprodukt på ca. 1 MW.

Projektledelsen har fungeret fint med regelmæssig afholdelse af projektledelses- og projektmøder, hvor der løbende har været taget stilling til ledelsesmæssige beslutninger, fulgt op på projektaktiviteter budget og tidsplan, samt aftalt diverse aktioner.

Risici ved projektets gennemførelse

Det var forudset, at det kunne være forbundet med vanskeligheder at udvikle et demonstrationsanlæg, samt at finde en vært til demonstrationsanlægget.

Ønsket om og interessen for udvikling af et standardprodukt med ca. 1 MW varmeydelse ændrede sig da Innoterm undervejs i projektforløbet blev købt af Exodraft, hvilket resulterede i at det af forskellige årsager blev besluttet at undlade at udvikle et fabriksbygget standardprodukt. Derved forsvandt de forudsete risici.

Projektforløb i forhold til plan og milepæle

Der har været foretaget nogle justeringer undervejs i forhold til budget, tidsplan, projektdeltagere og milepæle.

Straks ved opstarten af projektet blev Løgumkloster Fjernvarme som projektdeltager udskiftet med Brædstrup Fjernvarme, men ellers har deltagerkredsen været den samme gennem hele forløbet. Luve S.p.A. i Milano deltog sidst i forløbet sammen med den danske repræsentant for Fincoil Luve Oy.

Undervejs i projektet er der sket nogle indbyrdes omrokeringer af timer og omkostninger for at tilpasse projektaktiviteterne i forhold til projektdeltagernes involvering.

Projektets start- og afslutningstidspunkt er begge blevet rykket i forhold til tidsplanen i ansøgningen. Projektet startede i oktober 2019 (1/9 2019 angivet i ansøgning) og sluttede 30/11 2022 (1/3 2022 angivet i ansøgning).

Uforudsete forhold og problemer i projektforløbet

Innoterm's økonomiske administration af projektet har været påvirket af skiftende økonomiske medarbejdere.

Exodrafts køb af Innoterm har påvirket interessen for at udvikle et standardprodukt på ca. 1 MW.

Der har været interessekonflikter mellem Innoterm, Luve og Brædstrup Fjernvarme, hvilket på et tidspunkt bevirkede af Luve trak sig fra projektet.

Konkurrencesituationen har ændret sig markant gennem projektføreløbet.

Problematikkerne mht. manglende gasleverance fra Rusland, samt krigen i Ukraine har bevirket at der er opstået stort behov for og ønske om mere kollektiv varmforsyning – bl.a. med store udeluftvarmepumper.

5. Project results

English version:

Achieving the project's goals

The goal has been achieved in terms of acquiring great insight into and new knowledge about how outdoor air evaporators for larger outdoor air heat pumps work during operation and defrosting.

The goal of optimization has been partially achieved in terms of developing and demonstrating intelligent control of hot gas defrosting, whereby the evaporators perform as much as possible during operation and use as little energy as possible during defrosting.

The goal has not been reached in terms of developing a factory-built standard product of approx. 1 MW based on the project's acquired insight and knowledge.

Achieved technological results

The technological results are documented in partial reports for each work package in the project, as well as laid down in a guideline on many different factors regarding the choice of evaporators, which should be taken into account when considering new large heat pumps with outside air as a heat source.

In the following, individual issues are selected and reproduced from the guideline and one of the partial reports.

From the prepared 8-page guideline on the design of evaporator systems for large outdoor air heat pumps, the following recommendations are reproduced based on the project's experience:

Coils:

- Fin distance > 5 mm (6-8 mm)
- Downward airflow in flatbed type evaporators
- Configuring of coils with headers and u-pieces for acceptable internal heat transfer

Fans:

- Fans that do not stall under normal operating conditions both without and with ice/frost on fins
- Airflow downwards – to avoid ice/frost build-up on fan blades and surrounding "housing"

- Possibility of different speeds – in relation to noise requirements at different times of the day

Refrigerant and system design:

- R717, as refrigerant – unless there are major advantages to another choice
- Liquid supply to evaporators such as DX with a circulation number of ≈ 1 or as a flooded system with a circulation rate of 1.2-1.5

More evaporators:

- R717, as refrigerant – unless there are major advantages to another choice
- Liquid supply to evaporators such as DX with a circulation number of ≈ 1 or as a flooded system with a circulation number of 1.2-1.5

Airflow:

- Downward airflow through the evaporator to avoid icing situations on fan blades and surrounding housing
- The consideration of an extent of recirculation when sizing the evaporators – e.g. via a safety factor
- The consideration for operation with frost/ice on the fins when dimensioning the evaporators – e.g. via a safety factor
- Choice of small dimensioning temperature difference – i.a. to minimize frost/ice build-up on fins with resulting reduction in performance
- Ensuring demand-controlled defrosting – so that the evaporators operate for as much of the operating time as possible without unnecessary performance reduction due to frost/ice on the fins

Refrigerant Flow:

- Aim for liquid supply of ammonia with a circulation rate of 1-1.5 – to achieve the greatest possible performance

Oil accumulation:

- Careful consideration of the ability of the system design to avoid oil accumulation in the evaporator system

Durability:

- Ensure long durability and durability of vaporizers by careful selection and specification of this

Defrosting:

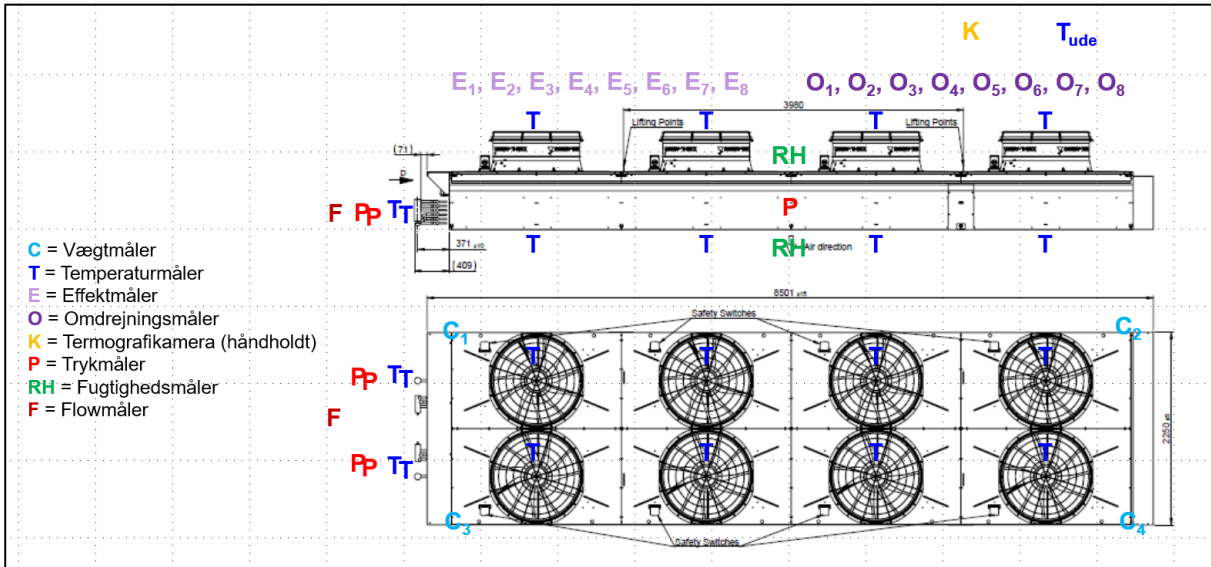
- Establishment of demand-controlled efficient defrosting with short defrosting time and minimal energy consumption

Economy:

- Thorough consideration and choice of dimensioning Δt , m^2 evaporator surface, as well as plant efficiency in relation to economy

With regard to optimization, we have succeeded in developing and demonstrating intelligent management of hot gas defrosting, whereby the evaporators perform as much as possible during operation and use the least possible energy during defrosting.

From the prepared 38-page report for WP04 Test in laboratory and on-site, the following is reproduced from section 3. Test on-site:



Indication of various measurements on evaporator #16 at the plant at Brødstrup Fjernvarme

It was in particular measurements of the evaporator's weight with load cells, measurements of absorbed electrical power for the fans, as well as measurements of air temperatures at the inlet and outlet of the evaporator that provided interesting data.

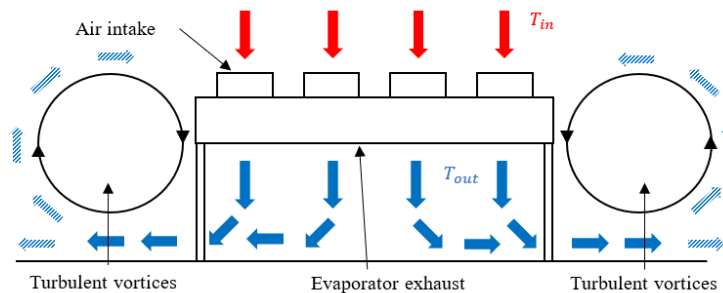
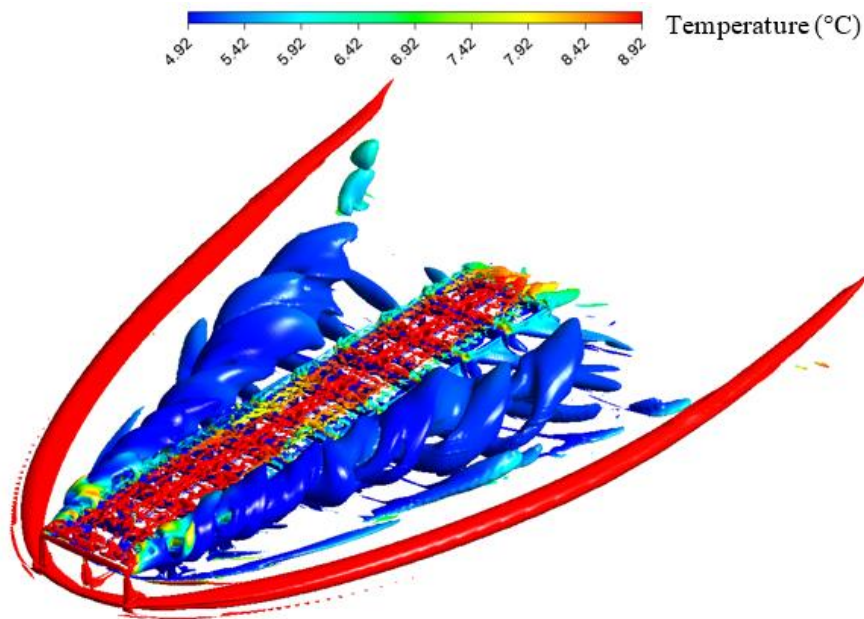


Figure 1. 2D sketch of flow recirculation around a horizontal evaporator

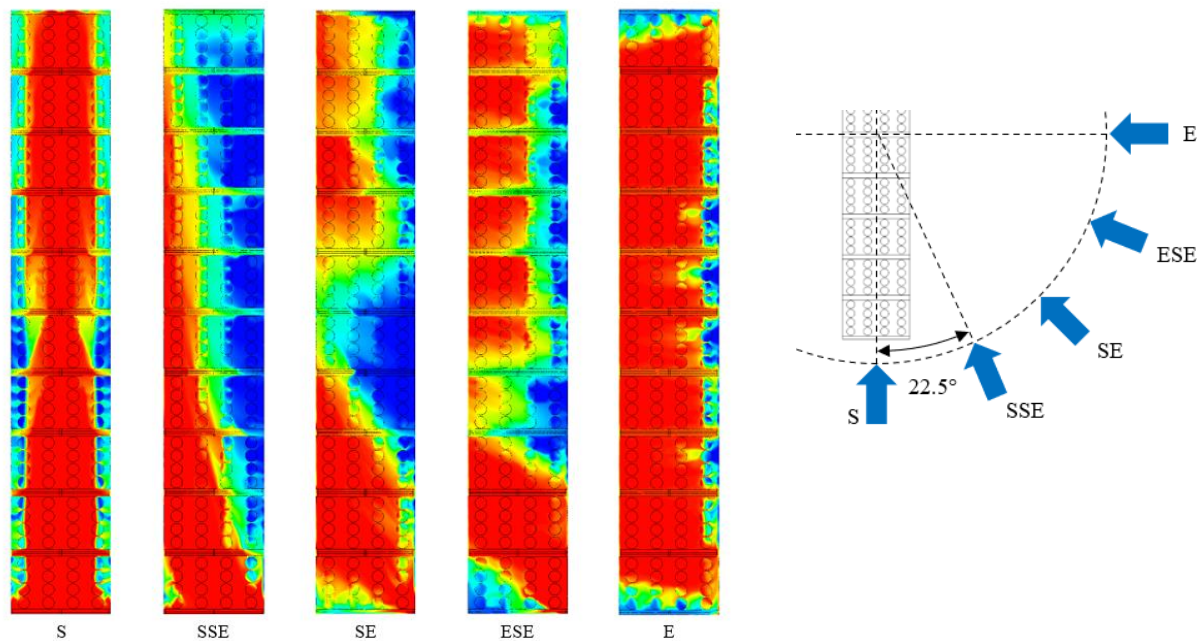
The formation of vortices which create recirculation

DTU's CFD work on the circulation of the air around the evaporators showed that large vortices arose at the ends of the evaporators, which causes cooled air to mix with outside air (recirculates), which thus reduces the energy absorbed by the evaporators.



The development of vortices through the evaporator row in southerly wind direction

The CFD work shows that the vortices around the row of 20 evaporators at Brædstrup Fjernvarme become larger and larger when the wind blows directly from the south.



Calculated degrees of recirculation in relation to changing wind directions

The CFD calculations show that the extent of recirculation changes in relation to wind direction. Most recirculation with the largest reduction in evaporator performance occurs in wind directions SSE and SE.



Icing of the evaporators

The images show several operating situations where all the ice has not been removed from the evaporators during defrosting, whereby the evaporator performance has also been reduced to varying degrees.



Ice and snow on top of the evaporators

The picture shows that unfortunate situations can also occur in winter, when snow settles on top of the fans, thereby reducing the air flow and reducing the evaporator performance.

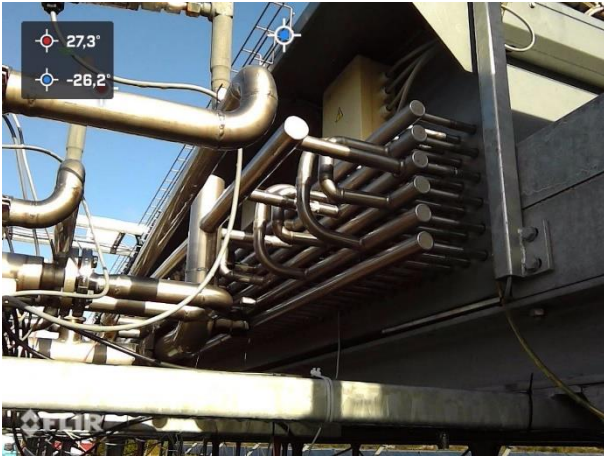
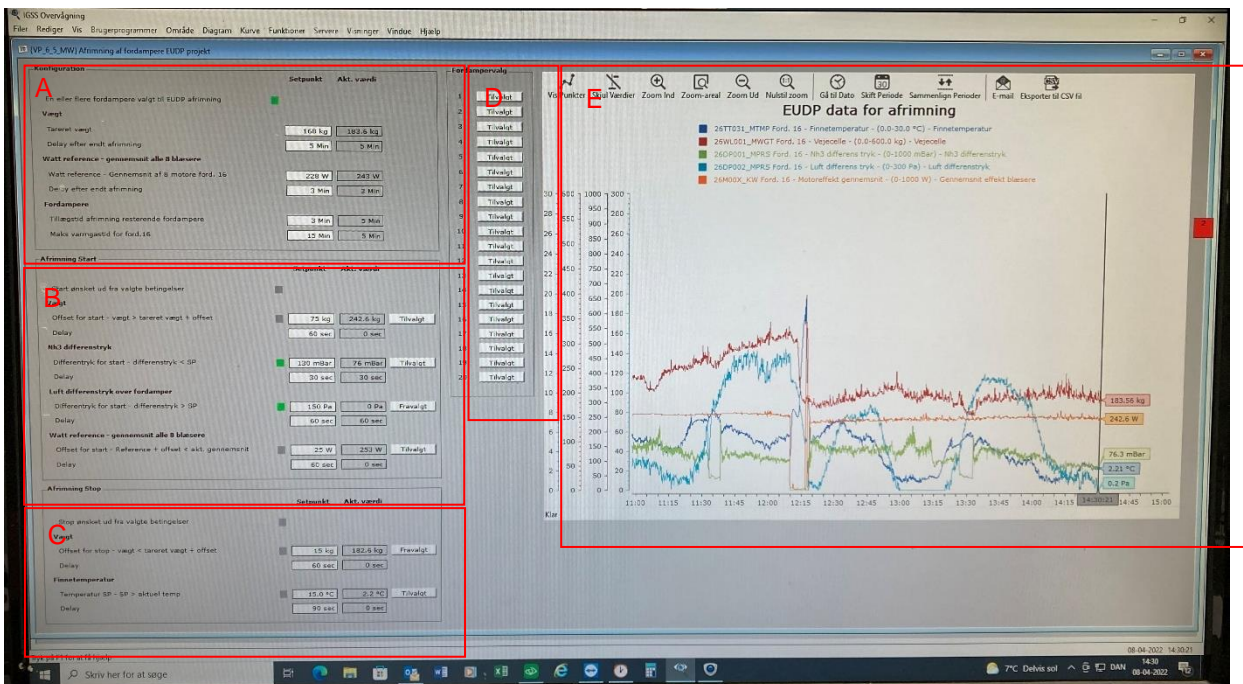


Photo and thermographic image of evaporator headers

The images show a regular photo and a thermographic image of the headers on one of the evaporators at Brædstrup Fjernvarme. Thermography was not of much use.



User interface of new hot gas defrosting control from the IGSS

The development of a new defrost control for the plant at Brædstrup Fjernvarme constitutes a significant result for the project. The image shows the user interface for the control, which consists of the following 5 main elements: A: Configuration, B: Defrost start, C: Defrost end, D: Evaporator selection, and E: Graph with measurement data

On the basis of the experiences with the defrost control, it seems most appropriate to use a start signal from measurements of the recorded electric power of all fans individually, as well as a stop signal from a measured fin temperature. The idea of using measurements from one evaporator as a master for defrosting all the other evaporators is a good one. At the end of the project, a change to the control was made so that the defrost

control can start when 2 out of the 8 fans on the reference evaporator show increased absorption of electrical power instead of the average of all 8 fans. It turned out that this change of control gave better results.

There are many more details about the project's professional results in the prepared interim reports.

Achieved commercial results

The project's participants apply the gained insight and knowledge to new projects about large outdoor air heat pumps for district heating, which has thus contributed to improving the content of the projects and created corresponding revenue.

Unfortunately, no increased commercial income has been achieved from the sale of standardized factory-built standard heat pumps because the product was not developed.

Target groups for solutions/technologies

It is the entire district heating industry in Denmark and abroad that constitutes the primary target group for the utilization of the project's results.

The communication of the project's results

In addition, the project has been disseminated at various Danish and international events and in magazines

Partial reports have been prepared for all the project's work packages, as well as a guideline.

Details can be found in the prepared interim report.

Dansk version:

Opnåelse af projektets mål

Målet er indfriet med hensyn til at erhverve stor indsigt i og ny viden om hvordan udeluftfordampere til store udeluftvarmepumper fungerer under drift og afrimning.

Målet om optimering er delvist nået med hensyn til at udvikle og demonstrere intelligent styring af varmgasaf-rimning, hvorved fordampere yder mest muligt under drift og bruger mindst mulig energi under afrimning.

Målet er ikke nået med hensyn til at udvikle et fabriksbygget standardprodukt på ca. 1 MW baseret på projek-tets erhvervede indsigt og viden.

Opnåede teknologiske resultater

De teknologiske resultater er dokumenteret i delrapporter for hver arbejdsopgave i projektet, samt nedfældet i en guideline om mange forskellige forhold vedrørende valg af fordampere, der bør tages med i overvejelser om nye store varmepumper med udeluft som varmekilde.

I det følgende er enkelte forhold udvalgt og gengivet fra guideline og én af delrapporterne.

Fra den udarbejdede 8 sider guideline om design af fordampersystem til store udeluftvarmepumper er føl-gende anbefalinger gengivet baseret på projektets erfaringer:

Coils:

- Finneafstand > 5 mm (6-8 mm)
- Luftgennemstrømning nedad i fordamper af flatbed-type

- Konfigurering af coils med headers og u-stykker for acceptabel indvendig varmeovergang

Ventilatorer:

- Ventilatorer, der ikke stall'er, under normale driftsforhold både uden og med is/rim på finner
- Luftgennemstrømning nedad – for at undgå is/rim-opbygning på ventilatorblade og omgivende "hus"
- Mulighed for forskellige hastigheder – i forhold til støjkrav på forskellige tider af døgnet

Kølemiddel og systemdesign:

- R717, som kølemiddel – med mindre at der er store fordele ved andet valg
- Væsketilførsel til fordampere som DX med cirkulationstal ≈ 1 eller som oversvømmet system med cirkulationstal 1,2-1,5

Flere fordampere:

- R717, som kølemiddel – med mindre at der er store fordele ved andet valg
- Væsketilførsel til fordampere som DX med cirkulationstal ≈ 1 eller som oversvømmet system med cirkulationstal 1,2-1,5

Luftflow:

- Nedadgående luftstrømning gennem fordamperen for at undgå situationer med isdannelse på blæservinger og omgivende hus
- Hensyntagen til et omfang af recirkulation ved dimensionering af fordampere – f.eks. via et sikkerhedstillæg
- Hensyntagen til drift med rim/is på finnerne ved dimensionering af fordampere – f.eks. via et sikkerhedstillæg
- Valg af lille dimensionerende temperaturdifferens – bl.a. for at minimere rim/is-opbygning på finner med resulterende reduktion af ydelsen
- Sikring af behovsstyret afrimning – så fordampere i mest mulig af driftstiden fungerer uden unødvendig ydelsesreduktion pga. rim/is på finnerne

Kølemiddelflow:

- Tilstræbe væsketilførsel af ammoniak med et cirkulationstal på 1-1,5 – for at opnå størst mulig ydelse

Olieophobning:

- Nøje overvejelse af systemdesignets evne til at undgå olieophobning i fordampersystemet

Bestandighed:

- Sikre lang holdbarhed og bestandighed af fordampere ved nøje valg og specifikation af dette

Afrimning:

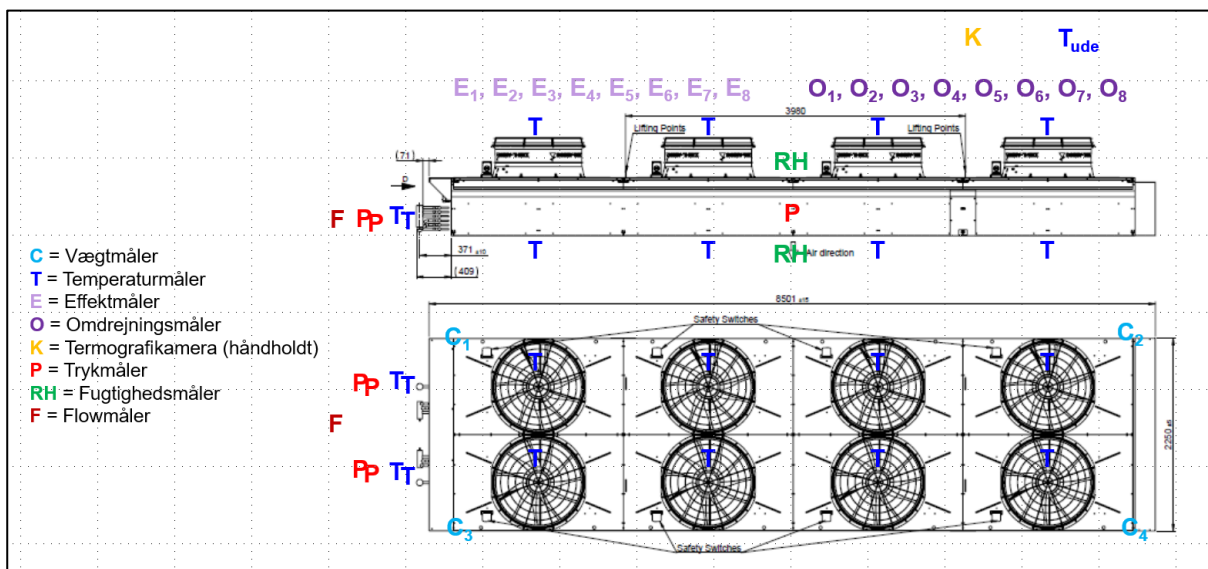
- Etablering af behovsstyret effektiv afrimning med kort afrimningstid og minimalt energiforbrug

Økonomi:

- Grundig overvejelse og valg af dimensionerende Δt , m^2 fordamperflade, samt anlægseffektivitet i forhold til økonomi

Med hensyn til optimering er det lykkedes at udvikle og demonstrere intelligent styring af varmgasafrimning, hvorved fordamperne yder mest muligt under drift og bruger mindst mulig energi under afrimning.

Fra den udarbejdede 38 sider delrapport for WP04 Test i laboratorie og on-site er følgende gengivet fra afsnit 3. Test on-site:



Angivelse af diverse målinger på fordamper #16 på anlægget ved Brædstrup Fjernvarme

Det var særlig målinger af fordamperens vægt med vejeceller, målinger af optaget elektrisk effekt til ventilatorerne, samt målinger af lufttemperaturer ved til- og afgang af fordamperen, der gav interessante data.

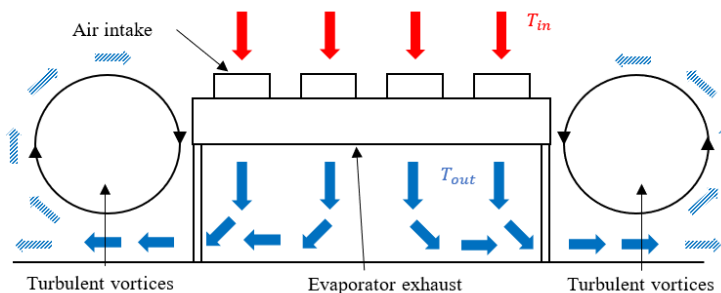
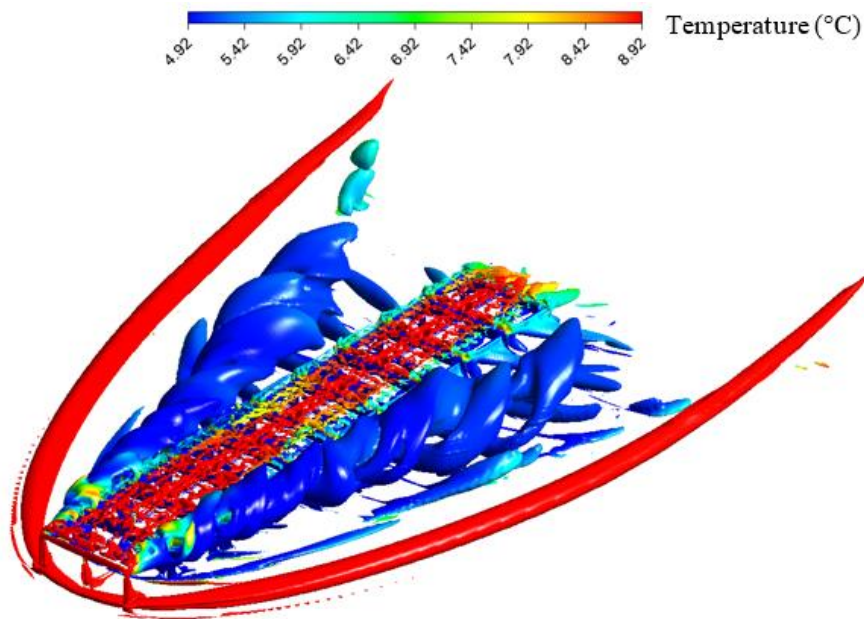


Figure 1. 2D sketch of flow recirculation around a horizontal evaporator

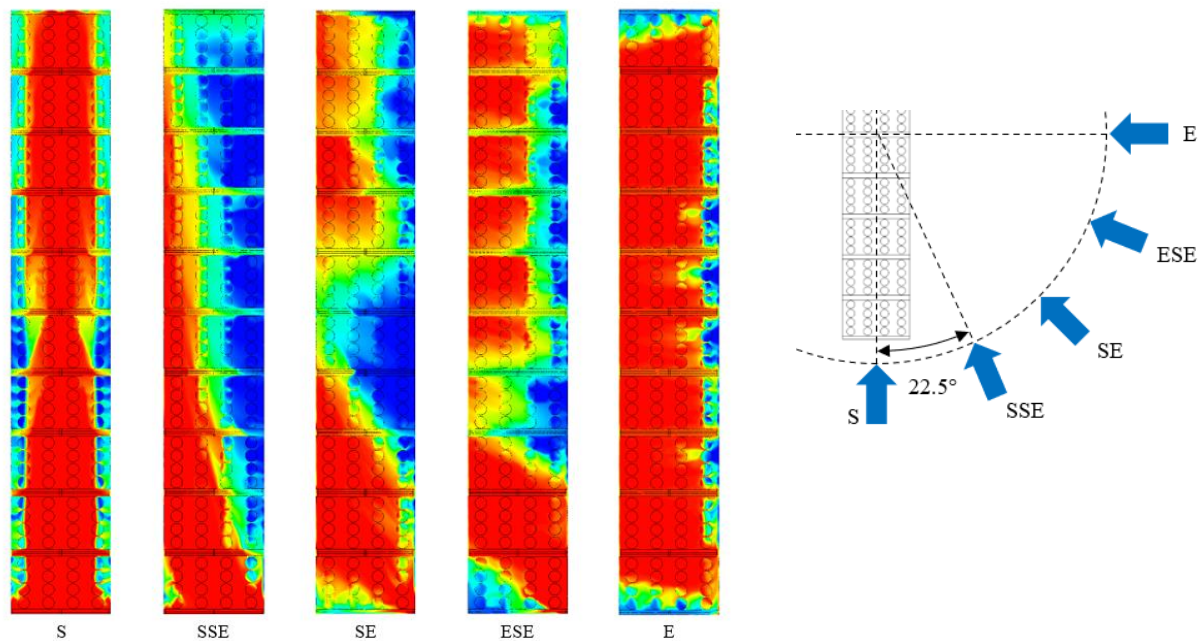
Dannelsen af hvirvler som skaber recirkulation

DTU's CFD-arbejde af luftens cirkulation rundt om fordamperne viste at der opstod store hvirvler ved fordampernes ender, hvilket bevirker at afkølet luft blander sig med udeluft (recirkulerer) som dermed reducerer fordampernes optagne energi.



Udviklingen af hvirvler gennem fordamperrækken ved vindretning syd

CFD-arbejdet viser at hvirvlerne omkring rækken af 20 fordampere ved Brædstrup Fjernvarme bliver større og større, når vinden blæser direkte fra syd.



Beregnete grader af recirkulation i forhold til skiftende vindretninger

CFD-beregningerne viser at omfanget af recirkulation ændrer sig i forhold til vindretning. Mest recirkulation med størst reduktion i fordamperydelse optræder ved vindretning SSE og SE.



Tilrimning af fordamperne

Billederne viser flere driftssituationer, hvor al is ikke er blevet fjernet fra fordamperne under afrimning, hvorved fordamperydelsen også er blevet reduceret i forskellig grad.



Is og sne ovenpå fordamperne

Billedet viser, at der også kan opstå uheldige situationer om vinteren, når sne lægger sig ovenpå ventilatorerne, hvorved luftflowet reduceres og fordamperydelsen falder.

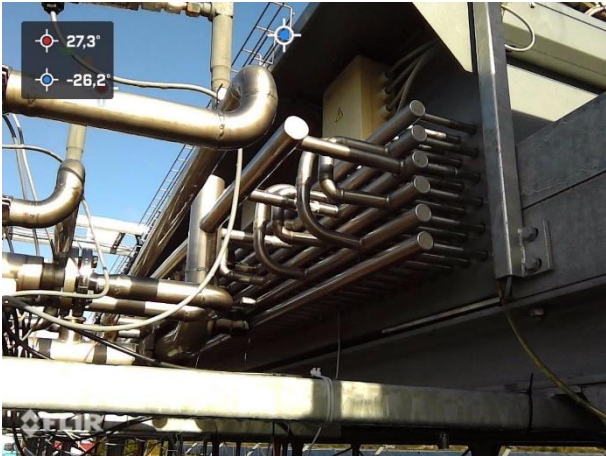
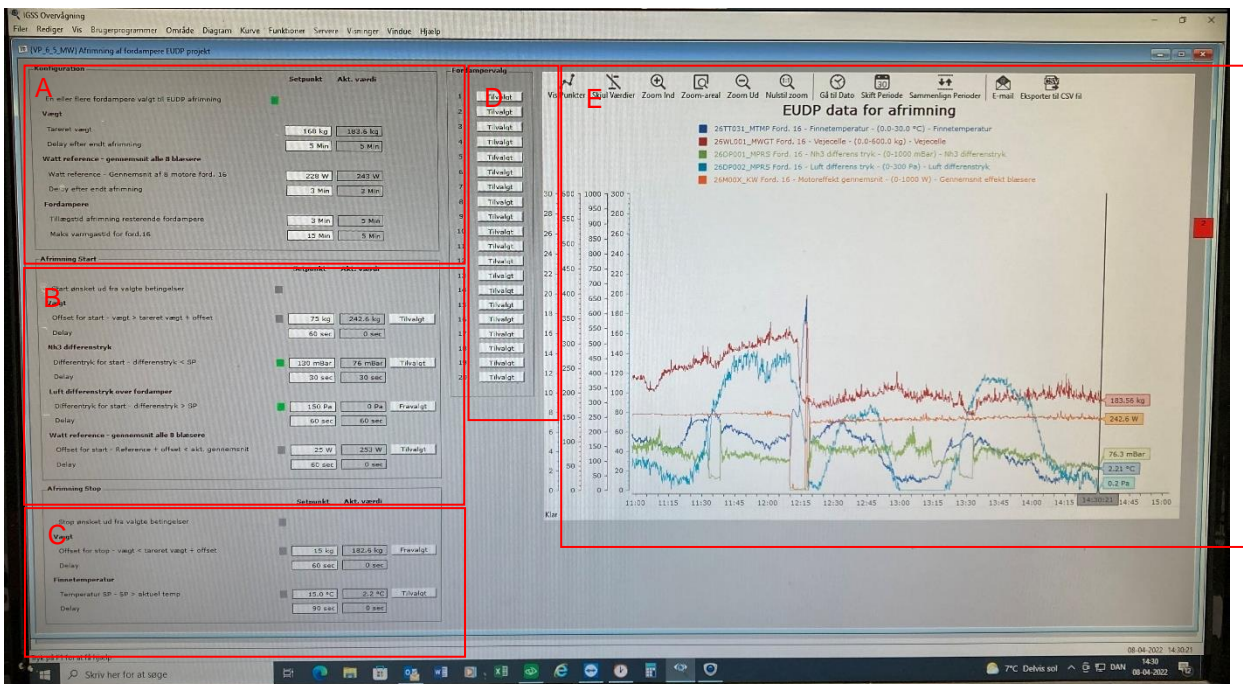


Foto og termografisk billede af fordamperheadere

Billedet viser et almindeligt foto samt et termografisk billede af headerne på én af fordamperne ved Brædstrup Fjernvarme. Termografering var ikke til meget nytte.



Brugerflade ny varmgasafrimning fra IGSS'en

Udviklingen af en ny afrimningsstyring til anlægget ved Brædstrup Fjernvarme udgør et væsentligt resultat for projektet. Billedet viser brugerfladen for styringen, der består af flg. 5 hovedelementer: A: Konfiguration, B: Afrimning start, C: Afrimning slut, D: Fordampervalg, samt E: Graf med måledata

På baggrund af erfaringerne med afrimningsstyringen virker det mest hensigtsmæssigt at benytte et startsignal fra målinger af alle blæseres optagne elektriske effekt hver især, samt et stopsignal fra en målt finnetemperatur. Tanken om at benytte målinger fra én fordamper som master til afrimning af alle de øvrige fordampere er god. Til sidst i projektføreløbet blev en ændring af styringen foretaget, således at defroststyringen kan starte, når 2 ud af de 8 blæsere på reference-fordamperen viser forhøjet optag af elektrisk effekt i stedet for gennemsnittet af alle 8 blæsere. Det viste sig, at denne ændring af styringen gav bedre resultater.

Der findes mange flere detaljer om projektets faglige resultater i de udarbejdede delrapporter.

Opnåede kommercielle resultater

Projektets deltagere anvender den opnåede indsigt og viden til nye projekter om store udeluftvarmepumper til fjernvarme, hvilket dermed har medvirket til at forbedre indholdet i projekterne og skabt tilsvarende omsætning.

Der er desværre ikke opnået øget kommerciel indtægt fra salg af standardiserede fabriksbyggede standardvarmepumper, fordi produktet ikke blev udviklet.

Målgrupper for løsninger/teknologier

Det er hele fjernvarmebranchen i Danmark og udlandet, der udgør den primære målgruppe for udnyttelsen af projektets resultater.

Formidlingen af projektets resultater

Desuden er projektet blevet formidlet ved forskellige danske og internationale arrangementer og i tidsskrift

Der er udarbejdet delrapporter for alle projektets arbejdsplaner, samt en guideline.

Detaljer findes i den udarbejdede delrapport.

6. Utilisation of project results

English version:

Future utilization of the technological results

The built-up great insight into and new knowledge about how outdoor air evaporators for large outdoor air heat pumps work during operation and defrosting will be used professionally by the project participants in various contexts. The Technological Institute and the Technical University of Denmark will participate in and apply for new research and development tasks, which in terms of content build on the results achieved. PlanEnergi will also participate in new research and development projects, but is already utilizing the knowledge gained in their consultancy for and participation in new district heating installations. Fincoil Luve Oy utilizes the results achieved in their deliveries of evaporators for new district heating installations in Denmark and other countries. Fjernvarme Fyn can use the results achieved for their plans to establish new heat pump installations. Brædstrup Fjernvarme has already used the project results to improve operation and defrosting.

Future exploitation of the commercial results

The built-up great insight into and new knowledge about how outdoor air evaporators for large outdoor air heat pumps function during operation and defrosting will be used commercially by the project participants in various contexts. The Technological Institute and the Technical University of Denmark will presumably be able to generate additional turnover on consultancy assignments and new follow-up projects. PlanEnergi will also generate revenue from consultancy and participation in new projects. Fincoil Luve Oy generates revenue from the sale of outdoor air evaporators for new heat pump systems at home and abroad. Fjernvarme Fyn has plans to invest in new heat pump systems that use outside air as a heat source. Brædstrup Fjernvarme has no follow-up commercial activities.

Achieved exports, employment and investments

Exports, employment and investments have not been directly achieved in the course of the project as a result of a standard product of 1 MW not being developed as planned.

The competitive situation on the market

The competition has become significantly greater throughout the course of the project. There are now several companies that can supply heat pump installations to the district heating industry with ammonia and other alternative refrigerants. In particular, the establishment of the company Fenagy, which primarily supplies plants based on CO₂, has intensified the competition considerably, which was one of the reasons why a standard product of 1 MW was not developed.

The competitive conditions are described in detail in the interim report for WP05.

The project's contribution to the realization of energy policy goals

During the project period, Denmark's energy policy goals have become even more relevant and important due to the war in Ukraine and the interrupted gas supply from Russia. The project has contributed to the goals of becoming independent of coal, oil and gas, increasing security of supply, becoming more financially robust against fluctuating prices, and reducing greenhouse gas emissions.

Dansk version:

Fremtidig udnyttelse af de teknologiske resultater

Den opbyggede store indsigt i og nye viden om hvordan udeluftfordampere til store udeluftvarmepumper fungerer under drift og afrimning vil blive udnyttet fagligt af projektdeltagerne i forskellige sammenhænge. Teknologisk Institut og Danmarks Tekniske Universitet vil deltage i og ansøge om nye forsknings- og udviklingsopgaver, der indholdsmæssigt bygger videre på de opnåede resultater. PlanEnergi vil også deltage i nye forsknings- og udviklingsprojekter, men udnytter allerede den opnåede viden i deres rådgivning til og deltagelse i nye fjernvarmeinstallationer. Fincoil Luve Oy udnytter de opnåede resultater i deres leverancer af fordampere til nye fjernvarmeinstallationer i Danmark og andre lande. Fjernvarme Fyn kan udnytte de opnåede resultater til deres planer om at etablere nye varmepumpeinstallationer. Brædstrup Fjernvarme har allerede anvendt projekresultaterne til at forbedre drift og afrimning.

Fremtidig udnyttelse af de kommercielle resultater

Den opbyggede store indsigt i og nye viden om hvordan udeluftfordampere til store udeluftvarmepumper fungerer under drift og afrimning vil blive udnyttet kommercielt af projektdeltagerne i forskellige sammenhænge. Teknologisk Institut og Danmarks Tekniske Universitet vil formodentlig kunne skabe meromsætning på rådgivningsopgaver og nye opfølgende projekter. PlanEnergi vil også skabe omsætning på rådgivning og deltagelse i nye projekter. Fincoil Luve Oy skaber omsætning på salg af udeluftfordampere til nye varmepumpeanlæg i ind og udland. Fjernvarme Fyn har planer om at investere i nye varmepumpeanlæg, der benytter udeluft som varmekilde. Brædstrup Fjernvarme har ingen opfølgende kommercielle aktiviteter.

Opnået eksport, beskæftigelse og investeringer

Der er ikke direkte opnået eksport, beskæftigelse og investeringer i projektføreløbet som følge af at der ikke blev udviklet et standardprodukt på 1 MW, som planlagt.

Konkurrencesituationen på markedet

Konkurrencen er blevet væsentlig større gennem projektforløbet. Der er nu flere virksomheder, der kan levere varmepumpeinstallationer til fjernvarmebranchen med ammoniak og andre alternative kølemidler. Særlig etableringen af virksomheden Fenagy, der primært leverer anlæg baseret på CO₂, har skærpet konkurrencen betydeligt, hvilket var en af årsagerne til at der ikke blev udviklet et standardprodukt på 1 MW.

Konkurrenceforholdene er beskrevet i detaljer i delrapporten til WP05.

Projektets bidrag til realisering af energipolitiske mål

Gennem projektperioden er Danmarks energipolitiske mål blevet endnu mere relevante og vigtige pga. krigen i Ukraine og den afbrudte gasforsyning fra Rusland. Projektet har bidraget til målene om at blive uafhængige af kul, olie og gas, øge forsyningssikkerheden, blive mere økonomisk robust overfor svingende priser, samt nedbringe drivhusgasudledninger.

7. Project conclusion and perspective

English version:

The conclusions of the project

We have learned a great deal about outdoor evaporators in this project

Using outdoor air as a heat source for large outdoor air heat pumps is "not quite so straightforward"

Recirculation and frosting must be taken into account when calculating the evaporator performance

Air flow upwards or downwards has both advantages and disadvantages

Low circulation number on the ammonia side has a positive influence on the evaporator performance

Measurement of the weight of evaporators, the absorbed electrical power of the fans, and fin temperature provide useful information for use in managing defrosting

Intelligent control of hot gas defrosting based on start and stop signals from a "master evaporator" can ensure efficient defrosting with minimal energy consumption

Next step for the development of the technology

We are not quite there yet - there is still a need for further project work in relation to optimization (Air4Heat)

Selected topics that will be useful to pursue are...

- Validated CFD models to find the best possible arrangement in rows or groups of a number of pre-evaporators under current conditions with minimal recirculation, e.g. height above ground level, use of guide plates, etc.
- Further development of more intelligent controls for hot gas defrosts that optimize both operation and defrosting.
- Investigation of the significance of the choice of refrigerant for performance and for investment and operating costs

The impact of the project results on future development

The project's results indicate a kind of "State-Of-Art" for large outdoor air heat pumps that use ammonia as a coolant.

The level of knowledge created forms a very good starting point for future development of heat pump technology for large district heating installations.

Dansk version:

Konklusionerne i projektet

Vi har lært rigtig meget om udeluftfordampere i dette projekt

Anvendelse af udeluft som varmekilde til store udeluftvarmepumper er "ikke helt så ligetil"

Der skal tages hensyn til recirkulation og tilrimning ved beregning af fordamperydelsen

Lufflow opad eller nedad har både fordele og ulemper

Lavt cirkulationstal på ammoniakside har positiv indflydelse på fordamperydelsen

Måling af vægt af fordampere, blæsernes optagne elektriske effekt, samt finnetemperatur giver nyttig information til brug for styring af afrimning

Intelligent styring af varmgasafrimning baseret på start- og stopsignaler fra en "masterfordamper" kan sikre effektiv afrimning med minimalt energiforbrug

Næste skridt for udviklingen af teknologien

Vi er ikke helt i mål endnu - der er stadig behov for yderligere projektarbejde i forhold til optimering (Air4Heat)

Udvalgte emner, som det vil være nyttigt at videre med, er ...

- Validerede CFD-modeller til at finde frem til bedst mulig opstilling i rækker eller grupper af et antal fordampere under aktuelle forhold med minimal recirkulation, f.eks. højde over jordoverflade, brug af ledeplader, o.lign.
- Videreudvikling af mere intelligente styringer til varmgasafrimninger, der optimerer både drift og afrimning.
- Undersøgelse af hvilken betydning valget af kølemiddel har for performance og for investering og driftsomkostninger

Projektresultaternes påvirkning af fremtidig udvikling

Projektets resultater angiver en slags "State-Of-Art" for store udeluftvarmepumper, der anvender ammoniak som kølemiddel.

Det skabte vidensniveau i projektet danner et rigtig godt udgangspunkt for fremtidig udvikling af varmepumpe-teknologi for store fjernvarmeinstallationer, der benytter udeluft som varmekilde.

8. Appendices

English version:

On the Technological Institute's website, partial reports from the work packages in the project can be found under this link: <https://www.teknologisk.dk/udeluftvarmepumper/41416>

Dansk version:

På Teknologisk Institut's hjemmeside findes delrapporter fra arbejdsplanerne i projektet under dette link: <https://www.teknologisk.dk/udeluftvarmepumper/41416>

Rapporter og artikler



Videnindsamling og analyse af tidligere undersøgelser - delrapport WP02 >
1,2 MB pdf



Optimization - delrapport WP03 >
1,4 MB pdf



Test i laboratorie og on-site - delrapport WP04 >
5,2 MB pdf



Demonstration ved fjernvarmeværk - delrapport WP05 >
1,1 MB pdf



Videnformidling - delrapport WP06 >
1,5 MB pdf



Analysis of Air-recirculation of Air-source heat pump evaporators using CFD simulations >
3,7 MB pdf



Guideline - Design af fordampersystem til store udeluftvarmepumper >
431 KB pdf



Results from measurements of heat pump for district heating using ambient air as heat source >
1,8 MB pdf