



Delrapport WP02

Videnindsamling og analyse af tidligere undersøgelser

EUDP 2019-I

Optimering af store udeluftvarmepumper



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Delrapport WP02 Videnindsamling og analyse af tidligere undersøgelser

EUDP 2019-I
Optimering af store udeluftvarmepumper

Filnavn: Delrapport WP02 2022_11_22.docx

Udarbejdet af
Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Køle- og Varmepumpeteknik

November 2022
Redaktør: Svann Hansen

Indhold

| | |
|---|----|
| 1. Indledning | 4 |
| 2. WP02 Videnindsamling og analyse af tidligere undersøgelser | 5 |
| 3. Projekter | 7 |
| 4. Små A2W-varmepumper til enfamilieboliger | 10 |
| 5. Store A2W-varmepumpeanlæg..... | 14 |
| 5.1. Eksisterende og planlagte anlæg..... | 14 |
| 5.2. Forløbet fra idé til ordre | 16 |
| 5.3. Projektering og installation | 24 |
| 5.4. Drift..... | 28 |
| 5.5. Service og vedligehold | 30 |
| 6. Referencer | 31 |

1. Indledning

Denne delrapport indeholder det arbejde, der er blevet udført i "WP02 Videnindsamling og analyse af tidligere undersøgelser" i EUDP-projekt EUDP 2019-I med titlen "Optimering af store udeluftvarmepumper", hvor Innoterm A/S er projektansvarlig og hvor Teknologisk Institut har haft projektledelsen.

2. WP02 Videnindsamling og analyse af tidligere undersøgelser

Den oprindelige beskrivelse af arbejdsopgave 2 (WP02 - Work Package 2) i projektansøgningen lød således:

WP02: Knowledge gathering and analysis of previous studies

Responsible for WP02: DTI and DTU

WP participants: All partners but primarily DTI and DTU

Content:

- *Gather existing knowledge and experience.*
- *Uncover regulatory requirements and necessary approvals by the authorities.*
- *Uncover financial conditions regarding investment and operation.*
- *Cooperation and dialogue with the district heating plants.*
- *Documentation (reporting) of completed project work.*
- *Gather knowledge and experience from already installed plants.*
- *Gather knowledge about how small air/water heat pumps for households are designed and operated.*
- *Gather knowledge and experience from the IEA Annexes.*
- *Coordination with the FARS project (EUDP project named Future Ammonia Refrigeration Systems).*
- *Coordination with ongoing activities at DTU.*

DTI and DTU are responsible for this work package which creates a full overview of the current stage of research within the technical areas covered in the project which is fundamental before pursuing the technologies further. The purpose is to gather relevant knowledge and to distribute it to the project partners in order to develop the technology further. On the basis of the results of the knowledge survey DTU will create the preliminary numerical model and the CFD model to be used for further analysis of optimization. The work package will form the basis for WP03, and studies and analysis in this WP02 can be affected by results from WP03.

Output:

- *Overview of information gathered*
- *Decisions on optimization strategies on evaporator designs, evaporator layouts and defrost control strategies to be performed in WP03*
- *The preliminary models to further analysis of optimization of ambient air heat pump.*

En oversættelse af den engelske tekst i projektansøgningen til dansk ser således ud:

WP02: Videnindsamling og analyse af tidligere undersøgelser

Ansvarlige for WP02: DTI og DTU

WP-deltagere: Alle partnere, men primært DTI og DTU

Indhold:

- Samle eksisterende viden og erfaring.
- Afdække myndighedskrav og nødvendige godkendelser fra myndighederne.
- Afdække økonomiske forhold vedrørende investering og drift.
- Samarbejde og dialog med fjernvarmeværkerne.
- Dokumentation (rapportering) af afsluttet projektarbejde.
- Samle viden og erfaring fra allerede installerede anlæg.
- Samle viden om, hvordan små luft / vand-varmepumper boliger designes og betjenes.
- Indsaml viden og erfaring fra IEA-Annexerne.
- Koordinering med FARS-projektet (EUDP-projekt Future Ammonia Refrigeration Systems).
- Koordinering med igangværende aktiviteter på DTU.

DTI og DTU er ansvarlige for denne arbejdsopgave, der skaber et fuldt overblik over det nuværende niveau af viden inden for de tekniske områder, der er omfattet af projektet, hvilket er grundlæggende, før teknologierne videreføres. Formålet er at indsamle relevant viden og distribuere den til projektpartnerne for at udvikle teknologien yderligere. På grundlag af resultaterne af vidensundersøgelsen vil DTU skabe den foreløbige numeriske model og CFD -model, der skal bruges til yderligere analyse af optimeringen. Arbejdsopgaven danner grundlaget for WP03, og undersøgelser og analyser i denne WP02 kan påvirkes af resultater fra WP03.

Resultat:

- Oversigt over de indsamlede oplysninger
- Beslutninger om optimeringsstrategier for fordampersdesign, fordampers-lay-outs og strategier til af-rimningsstyring, der skal udføres i WP03
- De foreløbige modeller til yderligere analyse af optimering af udeluftvarmepumper.

3. Projekter

Dette afsnit i delrapporten rummer relevante afsluttede og igangværende projekter, IEA-Annexer, FARS-projektet (EUDP-projekt Future Ammonia Refrigeration Systems), forskningsarbejder, mm.

Ingen såkaldte Annex'er (projekter) fra IEA (International Energy Agency) er skønnet relevante i forhold til dette projekt.

Literature review on lubrication for compressors in high-temperature heat pump systems [19]

Background:

This literature review is made as part of the SuPrHeat project, which aims at developing heat pump systems for process heat supply at temperatures of up to 200 °C based on water, hydrocarbons, and CO₂ as refrigerant.

The most critical component for increasing the temperature in heat pumps is the compressor and the respective lubrication system. The project considers oil-free turbocompressors for the systems using water as refrigerant, but for the hydrocarbon and the CO₂ systems the positive displacement compressors like screw- and reciprocating compressors require lubrication, primarily for cooling, sealing, and reduction of friction. Hence, this literature review is made in order to investigate state-of-the-art and challenges regarding lubrication for high-temperature compressors in order to support the development of high-temperature heat pumps, and to define inputs for selecting a suitable lubrication oil for high-temperature heat pump systems with CO₂ and hydrocarbons as the refrigerant.

Master Thesis DTU, 2019: Potentials and limitations for using ambient air as heat source for large-scale heat pumps

Dette kandidatspeciale [1] undersøger mulighederne for at benytte luft som varmekilde til store varmepumper. Specialet tager udgangspunkt i tre installerede anlæg i henholdsvis Ringkøbing, Jægerspris og Sig.

Med udgangspunkt i målinger på anlægget i Sig, er der udviklet beregningsmodeller for varmetransmission, pårimning og forskellige afrimningsstrategier. Varmetransmissionsmodellen har en afvigelse på ± 20 % i forhold til målingerne fra Sig. Yderligere er der udviklet en CFD-model for at vurdere omfanget af luftrecirkulation omkring luftvarmeveksleren. De udviklede modeller er for en V-formet varmeveksler i et indirekte system med glykol som medie.

ELFORSK 347-030: Optimization of hot gas defrost in industrial refrigeration systems

I dette projekt er forskellige muligheder for at forbedre effektiviteten af varmegasafrimning på industrielle ammoniak køleanlæg undersøgt, både numerisk og eksperimentelt. To forskellige styringsmetoder af varmegasafrimningen er undersøgt i projektet; fordampetrykstyret hvor trykket holdes konstant under afrimningen og væskenniveaustyret hvor væskestanden af kølemiddelvæsken holdes konstant ved hjælp af en flyder ventil.

De to afrimnings styring er sammenlignet eksperimentelt for en række fordamper designs [2,4,5,6] i både laboratorie forsøg or fuld skala implementering. Yderligere, er der udviklet numeriske modeller [3] af samme styringer.

Projektet viser at væskenniveau styring er mere energieffektivt end trykstyring med en reduktion af elforbruget på ca. 20 %. Denne besparelse vil stige yderligere, op til 30 %, for længere afrimningstider. Dette skyldes at væskenniveaustyringen i princippet er selvregulerende.

EUDP projekt 64017-05128 : Future Ammonia Refrigeration Systems (FARSevap)

I FARS projektet søges det at udvikle nye energi- og prisoptimerede komponenter til industrielle ammoniakøleanlæg med lav kølemiddelfyldning. I projektet er der udviklet modeller af traditionelle fin-tube fordampere [7] samt nye microchannel designs [8]. Med disse modeller er fordampergeometrien blevet optimeret i forhold til at minimere kølemiddelfyldning og fordamperareal mens varmeveksler-effektiviteten maximeres.

De udviklede modeller vil kunne benyttes som udgangspunkt for modeludviklingen i dette projekt. For at modellerne kan benyttes her, kræver det dog at såvel ud kondensering samt indfrysningen af vandet på fordamper fladen tilføjes til de eksisterende modeller.

EUDP projekt 64015-0571: Store elvarmepumper til fjernvarme (SVAF) - Fase 2

I SVAF-projektet er der udviklet modeller til at vurdere, hvordan store varmepumper, primært med ammoniak, skal konfigureres og drives for at levere fjernvarme med højest mulig effektivitet. De udviklede modeller har været brugt til at optimere set-punkter for at optimere dellast COP [9], til at identificere den bedste kredsproceskonfiguration afhængig af fjernvarme- og varmekildetemperaturer [10] samt at identificere det bedste varmevekslernetværk for serielle og to-trins varmepumper [11]. De udviklede modeller fokuserer primært på vandbårne varmekilder.

De udviklede modeller kan muligvis benyttes til at bestemme den bedste konfiguration til store luft-varmepumper i fjernvarmenetværket samt til at bestemme det optimale blæserarbejde samt at evaluere systemeffekten af forskellige afrimningsstyringer og afrimningstider.

Litteraturstudie af luft-recirkulering i store udendørs varmevekslere

Litteraturstudiet fokuserer på luft-recirkulering omkring kondensatorer, idet der ikke blev fundet offentlig tilgængelig litteratur for storskala fordampere. Derudover omfatter litteraturstudiet resultater og guidelines vedrørende CFD simulering af denne type varmevekslere [12].

Anbefalinger til markedsgennembrud for store varmepumper [13]

I august 2018 samlede tænketanken Grøn Energi, DFP og PlanEnergi – med økonomisk støtte fra Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet - 48 eksperter fra 41 virksomheder, organisationer, forsyningselskaber og forskningsinstitutioner til en varmepumpecamp.

Campdeltagerne skulle på et døgn finde løsninger på, hvordan vi skaber et markedsgennembrud for store varmepumper i fjernvarmen. I alt seks arbejdsgrupper arbejdede med hver deres konkrete problemstilling, og anbefalingerne skal ses som deres afrapportering.

Varmepumpecampens formål var at samle energisektoren om selv at finde løsninger på, hvordan vi fremmer brugen af varmepumper. Derfor var fokus først og fremmest på, hvilke initiativer energisektoren selv kan tage, nu hvor Folketinget har banet en del af vejen ved at lette afgiftstrykket på el – og sekundært på, hvilke tiltag myndigheder og politikere bør tage. Et er sikkert – varmepumperne kommer ikke af sig selv, men kræver fokus fra både politikerne og energisektoren.

Anbefalingerne skal samtidig ses som energisektorens indspark til, hvordan fjernvarmen kan bidrage til FN's syvende verdensmål om bæredygtig energi og til klimamålene om en fossilfri varmesektor. Her er varmepumperne centrale, fordi de kan opsamle vedvarende energi fra kilder, som ellers ikke kan udnyttes – fx havvand og udeluft. Også muligheden for at udnytte spildvarme fra industri, datacentre og spildevandsanlæg hænger uløseligt sammen med integration af store varmepumper i fjernvarmen.

De store varmepumper har stærke koblinger til elsystemet samt forbrugere og virksomheders varme- og kølebehov. Det gør kollektive varmepumper helt centrale for den integration af energisystemerne, som er nødvendig for en omkostningseffektiv grøn omstilling.

Drejebog til store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet [14]

Det er en drejebog for „store varmepumper“ i fjernvarmen. Ikke to varmepumpeprojekter er ens og varmepumpeprojekter kan være komplicerede. Der er mange forskellige aspekter at overveje, og ikke alle er lige relevante i alle varmepumpeprojekter. Man har valgt at beskrive mange forskellige varmepumper, for netop at illustrere forskelligheden i varmepumpeprojekter. Med „store varmepumper“ mener man varmepumper, der indgår i fjernvarmesystemer, hvorfor drejebogens fokus er på indpasning af varmepumper i fjernvarmesystemet.

Drejebogen og inspirationskataloget kan inspirere til nærmere overvejelser om, hvorvidt varmepumper kan blive en del af den fremtidige fjernvarmeproduktion i et konkret fjernvarmesystem. Drejebogen kan således understøtte udarbejdelsen af et beslutningsgrundlag samt øge vidensniveauet hos målgruppen.

Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet [15]

Det er et inspirationskatalog, der viser forskellige varmepumpeprojekter i tilknytning til fjernvarmesystemer. Inspirationskataloget kan læses selvstændigt, men er fremstillet i sammenhæng med drejebogen for store varmepumper.

Drejebogen og inspirationskataloget kan inspirere til nærmere overvejelser om, hvorvidt varmepumper kan blive en del af den fremtidige fjernvarmeproduktion i et konkret fjernvarmesystem. Udgivelserne kan således øge vidensniveauet hos målgruppen samt understøtte udarbejdelsen af et beslutningsgrundlag.

Store varmepumper i fjernvarmeforsyningen - Evaluering af initiativerne for rejsehold og tilskudsordning for store varmepumper i fjernvarmeforsyningen [16]

Forordet:

På Finansloven for 2015 blev der afsat midler til et rejsehold, der har til formål at hjælpe fjernvarmeværker med konkret implementering af varmepumpeløsninger. Rejseholdet skulle være med til at fremme udbredelsen og kendskabet til store eldrevne varmepumper i fjernvarmeforsyningen gennem rådgivning. Der blev desuden afsat midler til en tilskudsordning som gennem støtte skal dokumentere de driftsmæssige og selskabsøkonomiske fordele for fjernvarmeværkerne ved at etablere store varmepumper og dermed kickstarte udbygningen. Denne rapport indeholder de erfaringer, som Energistyrelsens rejsehold for store eldrevne varmepumper med tilhørende tilskudsordning opnåede i perioden fra opstart i maj til ultimo 2015. Rapporten er dermed del af en af rejseholdets vidensdeling og erfaringsopsamling. Rapporten indeholder beskrivelse af rejseholdets opgave og formål samt de aktiviteter og tilbagemeldinger holdet har fået gennem dets virke. Der er endvidere en beskrivelse af de tekniske-, drifts- og selskabsøkonomiske forhold for de ti decentrale fjernvarmeværker, som har modtaget støtte til at installere en stor eldrevne varmepumpe gennem tilskudsordningen. Målgruppen for rapporten er primært fjernvarmeværker, rådgivere, kommunale varmeplanlæggere og andre aktører som kan drage nytte af de erfaringer som rejseholdet og tilskudsordningen har opnået.

Store varmepumper i fjernvarmen – driftserfaringer [17]

Forordet:

De store varmepumper i fjernvarmen i et vigtigt element, når det gælder at levere grøn varme og integration af energisystemer i en klimavenlig fremtid.

Mange kollektive varmepumper er på vej ind i fjernvarmen i mange forskellige kombinationer med resten af energisystemet. Der er derfor brug for viden om de varmepumper, som allerede er blevet etableret og idriftsat i fjernvarmen for at samle driftserfaringer og dele læring, der kan gavne kommende og eksisterende varmepumpeprojekter.

Lige nu er brugen af varmepumper i forskellige koncepter i sin vorden og i en kritisk fase, hvor mange fjernvarmeselskaber venter og ser, om de lever op til forventningerne i den daglige drift og er konkurrencedygtige, inden de selv går i gang. Vi kan sammenligne det med den gang i 90'erne, hvor der var krav om at etablere gasfyret kraftvarme. Det var en helt ny teknologi i Danmark, og alle så spændt og afventende på, hvordan det gik med de første anlæg. Da teknik og økonomi var i orden, gik det som bekendt stærkt.

Derfor er formidling af erfaringer særlig vigtig nu. Der er mange erfaringer fra de første anlæg, og dette projekt har til formål at screene driftserfaringerne fra disse anlæg. Resultaterne fra projektet skal give værdi ved at:

- indsamle og dele driftserfaringer med alle aktører, så branchen får et overblik, som kan hjælpe både eksisterende og kommende varmepumpeanlæg og fjernvarmesystemer
- understøtte den direkte erfaringsudveksling mellem fjernvarmeselskaber, der har eller overvejer etableringer af store varmepumper.
- skabe grundlag for en diskussion af, hvor der er behov for yderligere vidensdeling eller F&U-indsats.

Projektet indgår dermed i en løbende proces med at skabe og dele viden om store varmepumper som en del af fremtidens fjernvarme og grønne omstilling af det samlede energisystem.

Projektet er støttet af Dansk Fjernvarmes F&U-konto, og i projektet deltager Rambøll, Dansk Fjernvarme, Grøn Energi, Tårnby Forsyning, Ringkøbing Fjernvarme, Gudenådalens Energiselskab og Høje Taastrup Fjernvarme. Der er indsamlet erfaringer fra 24 varmepumpeanlæg med tæt tilknytning til fjernvarme. Erfaringerne er indsamlet via interviews om varmepumpeprojekterne fra planlægning til normal drift. Erfaringerne er indsamlet dels fra projektets deltagende varmeværker, dels fra en række varmeværker med idriftsatte varmepumper.

Erfaringerne dækker en bred vifte af varmepumper både i størrelse, type, varmekilde, COP-værdi, antal driftsår mv. Præsentationen af erfaringsindsamlingen i denne rapport er en kombination af faktuelle oplysninger såsom COP-værdi, varmeeffekt, årlige driftstimer o. lign., samt citater og gode råd fra de interviewede varmeværker.

Sidst i rapporten findes bilag med fakta og kontaktoplysninger for interviewede værker.

Store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet [18]

Folderen indeholder uddrag af:

Drejebog til store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet og Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet

Formålet med udgivelserne er at inspirere og understøtte fjernvarmeselskabers vurdering af, hvordan store varmepumper kan indgå i fremtidig fjernvarmeproduktion. Drejebogen er desuden et nyttigt værktøj i udarbejdelsen af konkrete varmepumpeprojekter.

Udarbejdet af Grøn Energi, PlanEnergi og DFP - Dansk Fjernvarmes Projektselskab

Udgivelserne kan downloades i deres fulde længder på Energistyrelsens og Grøn Energis hjemmeside. Her er også et beregningsværktøj til at foretage første vurdering af potentialet for en varmepumpe.

4. Små A2W-varmepumper til enfamilieboliger

Dette afsnit i delrapporten rummer viden om og erfaringer med små luft-til-vand varmepumper til én-familieboliger mht. konstruktioner, tilslutning, afrimning, styring og regulering

Konstruktion

Fordamperen:

For små luft/vand varmepumper er afstanden mellem fordamperens lameller ca. mellem 1,5 – 4,5 mm. Jo mindre er afstand mellem lameller, jo bedre er ydelsen, når dugpunktstemperaturen på fordamperens overflader er over 0°C.

Når dugpunktstemperaturen af fordamperens overflader er under 0°C, tilises fordamperen relativt hurtigere og får dermed relative hyppigere afrimninger.

For lille afstand (1,5 mm) mellem lamellerne kan også gøre det svært at aflede afrimningsvandet, når isen smelter under afrimning.

Afrimning

I dag kører næsten alle luft/vand varmepumper "Steady State" ved "Rating Conditions" som A7W35 (Δt 5k) og A7W55 (Δt 8k), og har et COP på henholdsvis ca. 4,5 og 3,5.

Med "Steady State" ved "Rating Conditions" forstås, at varmepumpens drift er stabil uden afbrud i perioder med afrimning under laboratorietest efter teststandarderne EN 14511 og EN 14825.

Betegnelsen A7W35 (Δt 5k) betyder at luftens (Δ ir) tilgangstemperatur til varmepumpens fordamper er +7°C, at vandets (Δ Water) afgangstemperatur fra varmepumpens kondensator er +35°C, samt at temperaturforskellen (Δt) mellem vandets tilgangstemperatur og afgangstemperatur er 5°K.

COP er en forkortelse af Coefficient Of Performance, hvilket for varmepumper udregnes som produceret varmeydelse [kW] divideret med optaget elektrisk effekt [kW].

Ved fuldlast afrimer varmepumper ofte ved A2/W35 og A2/W55 og har en COP på henholdsvis ca. 3,5 og 2,5. Kapaciteten bliver reduceret til ca. 80%.

Når varmepumper kører med delast f.eks. mellem 50% - 60%, kan der gå relativt lang tid mellem afrimninger. Det betyder en forbedring af COP til henholdsvis ca. 4 og 3.

Ved A-10/W35 og A-10/W55 og fuldlast kan der gå flere timer mellem afrimninger, typisk ca. 2,5 – 3,5 time, og COP ligger på henholdsvis ca. 3 og 2.

Ved A-7/35 og A-7/55 og ved fullast vil det være relative kortere tid mellem afrimninger i forhold til A-10/W35 og A-10/W55 og COP ligger på ca. 3 og 2.

Skemaet nedenfor indeholder en oversigt over oplysningerne ovenfor:

| | Afgangstemperatur +35°C fra kondensator (fremløbstemperatur) | | | | Afgangstemperatur +55°C fra kondensator (fremløbstemperatur) | | | |
|------------------|---|--------|--------|----------|---|--------|--------|----------|
| | A7W35 (Δt 5k) | A2/W35 | A-7/35 | A-10/W35 | A7W55 (Δt 8k) | A2/W55 | A-7/55 | A-10/W55 |
| COP ved fuldlast | ≈ 4,5 | ≈ 3,5 | ≈ 3 | ≈ 3 | ≈ 3,5 | ≈ 2,5 | ≈ 2 | ≈ 2 |

| | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| | Ingen af- rimning | Afrimer ofte | 2-3 timer mellem afrimnin- ger | 2,5-3,5 ti- mer mel- lem afrim- ninger | Ingen af- rimning | Afrimer ofte | 2-3 timer mellem afrimnin- ger | 2,5-3,5 ti- mer mel- lem afrim- ninger |
| COP ved 50-60% dellast | | ≈ 4 Lang tid mellem afrimnin- ger | | | | ≈ 3 Lang tid mellem afrimnin- ger | | |

Lige efter afrimningen er fordampere meget varmere end udelufttemperaturen og derfor er det en god ide at starte kompressoren først og blæseren bagefter.

Under laboratorieforhold samles kondensvandet fra fordampere i en drypbakke og ledes væk gennem en slange.

For at undgå store mængder af is i drypbakken, når udeluften temperatur er under frysepunkt, kan der lægges varmekabel i drypbakken og omkring slangen, som derved kan smelte og aflede en del vand fra dryp bakken.

Man kan overveje at opstille en fordampere på fliser, hvor kondensvand kan afledes til jorden under fliserne gennem mellemrummene i fliserne.

En relativt stor fordampere forlænger tilisningstiden og resulterer dermed i mindre kapacitetstab og bedre COP.

Styring

Varmepumpens fremløbstemperatur styres på 2 måder med 1. "fixed outlet" og 2. "variable outlet".

Med "fixed outlet" forstås at fremløbstemperaturen holdes konstant f.eks. 55°C (max. fremtemperatur for radiator drift iht. DS 469) og med "variable outlet" af fremløbstemperaturen varierer f.eks. efter indstillet varmekurve (variabel fremløbstemperatur i forhold til målt udetemperatur). Styringen sørger for at indstille til aktuell driftssituation med tilpasning af fremløbstemperatur og Δt mellem fremløb og retur ved at regulere på kompressorhastighed, pumpehastighed, mm.

"Variable outlet" giver lidt bedre COP, fordi varmpumpen derved tilpasser varmebehovet som funktion af udendørstemperaturen.

Mht. støjproblemer har nogle producenter indført "Low noise mode" eller "Silent mode" af forskellige grader, hvilket betyder at man reducerer kompressor- og blæserhastighed. Det fungerer på den måde at kompressor- og blæserhastigheden skrues ned. De giver typisk giver en reduktion mellem 2- 6 dB(A) i lydeffekten og 20- 50 % reduktion i kapaciteten.

Afrimningen styres som regel på 2 måder; 1. tidsstyret og 2. kapacitetsstyret.

Alle moderne varmepumper bruger kapacitetsstyring - enten ved at måle direkte på varmekapaciteten eller ved at måle på fordampnings- og udelufttemperaturerne.

Er kapaciteten f.eks. faldet 20 - 30%, er det et udtryk for at fordamperen er tiliset og at afrimningen skal sættes i gang.

Er temperaturforskellen mellem fordampningstemperaturen og udeluften blevet relative større, er det et udtryk på at fordamperen er tiliset og at afrimning skal sættes i gang.

Afrimning sker ved reversibel 4-vejsventil.

Nogle varmepumper afrimer på kort tid (4-6 min.) med meget høj trykgastemperaturer.

Nogle varmepumper afrimer på lang tid (8-12 min.) med lave trykgastemperaturer.

Man kan også vælge at ligge midt i mellem.

5. Store A2W-varmepumpeanlæg

Dette afsnit i delrapporten rummer viden om og erfaringer fra med store luft-til-vand mht. antal, steder, typer, konstruktioner, tilisning, afrimning, styring og regulering

5.1. Eksisterende og planlagte anlæg

Dette underafsnit i rapporten omtaler antal, steder, samt typer af store varmepumper.

Innoterm havde ved udgangen af 2020 installeret 8 varmepumper i MW-størrelse med udeluft som varmekilde ved flg. fjernvarmeværker:

[Tønder Fjernvarmeselskab A.m.b.a.: 4,8 MW](#)

[Ringkøbing Fjernvarmeværk A.m.b.a.: 4,8 MW](#)

[Grenå Varmeværk A.m.b.a.: 5 MW](#)

[Brædstrup Fjernvarme A.m.b.a.: 6,5 MW](#)

[Saltum Fjernvarme A.m.b.a.: 1,2 MW](#)

[Ørum Varmeværk A.m.b.a.: 2,4 MW](#)

[Assens Fjernvarme A.m.b.a.: 7,5 MW](#)

[Hashøj Kraftvarmeforsyning A.m.b.a.: 1,5 MW](#)

Andre varmeværker har fået installeret varmepumper med udeluft som varmekilde af:

[ICS Industrial Cooling Systems A/S – en del af Bravida](#)

[JCI Johnson Controls Denmark ApS](#)

[Victor A/S Energi og Køleteknik](#)

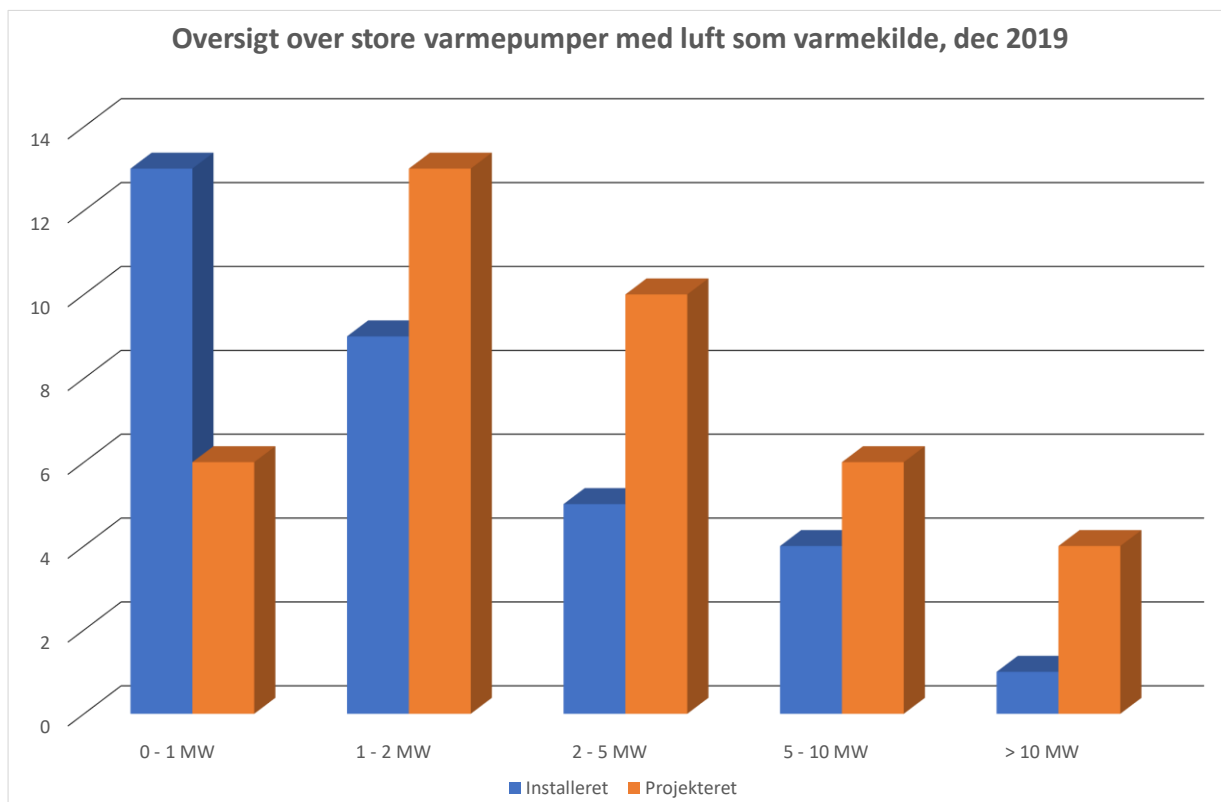
[Tjæreborg Industri A/S](#)

[Multi Køl & Energi A/S](#)

PlanEnergi har lavet en oversigt over installerede og projekterede store varmepumper baseret på udeluft som varmekilde og produktion af varme til det danske fjernvarmenet.

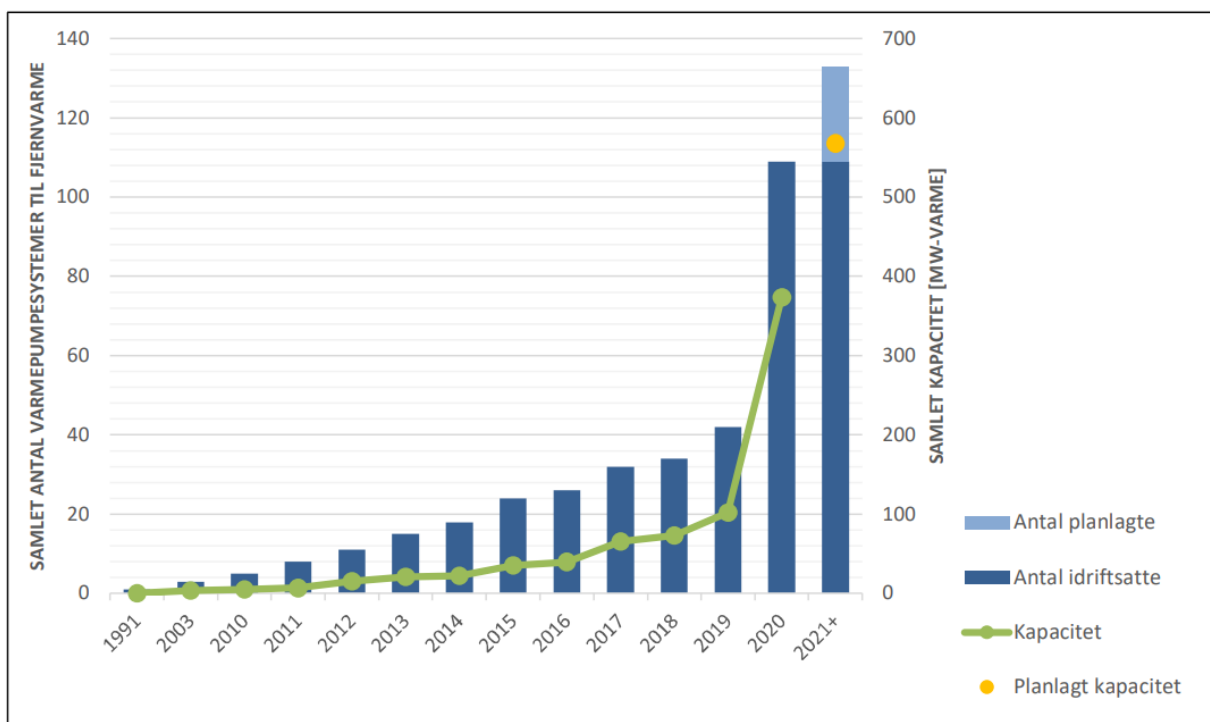
I december 2019 var der installeret 34 varmepumper med en samlet varmeeffekt på 78 MW. Fordelingen i antallet af varmepumper ved forskellige varmeeffekter er vist i figur 4. Den største andel af varmepumper findes med en varmeeffekt under 1MW.

Antal projekterede varmepumper pr. december 2019 er ligeledes vist i figur 4. Projekterede varmepumper er de varmepumper som forventes at blive idriftsat i 2020. Det ses af figuren at størrelserne af varmepumperne er steget, således at den største andel af varmepumper ligger i området fra 1-2 MW.



Figur 1 Installerede og projekterede store A2W varmepumper pr. december 2019

På PlanEnergi's hjemmeside findes en oversigt over store el- (og gas-) drevne varmepumper, som producerer varme til danske fjernvarmenet [20] - senest opdateret december 2020 af MK på baggrund af PlanEnergi-kilder og DFP-data. Herfra er flg. graf gengivet:



Det fremgår af PlanEnergi's oversigt, at der pr. december 2020 var idriftsat 109 varmepumper i Danmark med en samlet varmeydelse på 374 MW.

5.2. Forløbet fra idé til ordre

Dette underafsnit i rapporten omtaler opstilling af krav, økonomiske forhold, juridiske forhold, lovgivningskrav, miljøvurdering VVM, udbudsmateriale, overslagsberegninger, arkitektoniske forhold, overordnet anlægs-design og dimensionering, priskalkulation, tilbudsgivning, forhandling, kontraktindgåelse, mm.

Nogle gange indgås kontrakten på selve varmepumpeanlægget med udeluft som varmekilde direkte mellem værket og installatøren – andre gange bliver installatøren underleverandør til en totalentreprenør. Valgt set-up afhænger bl.a. af om den samlede leverance indbefatter bygninger med tilhørende faciliteter.

Varmeværker benytter rådgivere i stort omfang til at udarbejde udbudsmateriale, hvor der på forhånd er taget stilling til mange tekniske, økonomiske og juridiske forhold i forhold til bestyrelserne, der sjældent selv er i besiddelse af tilstrækkelig viden og erfaring til at træffe de nødvendige valg og beslutninger. Der opstår nogle gange situationer, hvor leverandøren af varmepumpeinstallationen er uenig med rådgiver mht. om den tekniske specifikation er den bedste løsning, og i sådanne tilfælde vil det ofte være hensigtsmæssigt at indgå i en dialog med leverandøren og udnytte hans viden og erfaring for at nå frem til den gunstigste systemløsning for værket.

Rådgivere, der hidtil har været involveret i de etablerede varmepumpeanlæg med udeluft som varmekilde til varmeværker er bl.a. flg.:

[COWI A/S](#)

[NIRAS A/S](#)

[DFP Dansk Fjernvarmes Projektselskab](#)

[PlanEnergi](#)

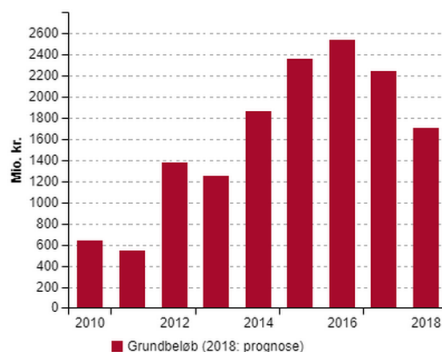
Omfanget af assistance fra rådgiverne varierer en del fra anlæg til anlæg, f.eks. er det ikke altid at rådgivere er involveret i tilsyn til projektet under etableringen.

For store udeluftvarmepumper er det vigtigt af være særlig opmærksom på at få afdækket forholdene vedrørende placering, samt udbredelse af støj og afkølet udeluft fra fordamperne til de nære omgivelser. Hertil kan lyd-simuleringer og CFD-beregninger være nyttige værktøjer til analyse af forholdene og til identificering af problemer.

Den primære årsag for fjernvarmeværkerne til at installere store varmepumper med luft som varmekilde er grundbeløbets bortfald. Grundbeløb gives til fjernvarmeselskaber med decentral kraftvarme-produktion som kompensation for at stå til rådighed på elmarkedet. I en analyse fra Dansk Energi [21] har grundbeløbsstøtten været ansvarlig for et fald af fjernvarmeprisen fra 2010-2016. For et standardhus på 130 m² svarer det til et fald fra 21.000 kr./år til 16.000 kr./år. Grundbeløbsstøtten bortfaldt d. 31/12-2018, så der er behov for at finde alternative energikilder til fjernvarmen for at sikre indtjening til fjernvarmeværkerne. I 2018 udgjorde beløbet 1,7 milliarder til 200 fjernvarmeværker. Den manglende støtte vil betyde højere priser på varmen.

Milliardbetalinger har sikret billigere varme

Siden 2005 har omkring 200 fjernvarmeværker – fortrinsvis på Fyn og i Jylland – modtaget milliarder af kroner som et såkaldt grundbeløb, viser tal fra Energistyrelsen.



Figur 2 Grundbeløbet pr. år

For at kompensere for grundbeløbets frafald kunne der søges tilskud til varmepumper, som skal idriftsættes inden udgangen af 2020.

Myndighedsbehandling

I forbindelse med godkendelse af opstilling af varmepumpe er der stor fokus støj som udsendes fra ventilatorerne på varmeoptageren. Der skal oftest laves en støjberregning hvor der skal redegøres for hvordan støj udbredes fra ventilatorerne. Der er forskellige krav til det maksimale støjkrav fra varmepumpen afhængig af placeringen af varmepumpen. I industriområder er der således lempeligere krav til støj end i boligkvarterer.

Tidshorisont

Tiden fra projektering til idriftsættelse af varmepumpen varer 1-1 ½ år.

Prisen for en installeret varmepumpe ligger på 4-8 MDKR/MW.

Fjernvarme Fyn A/S (FVF) er i en proces med at udfase kul baseret fjernvarme inden år 2026, som hidtil udgør ca. 40% af den totale produktion. En stor del af dette vil fremover blive erstattet af el drevet varmepumper baseret på forskellige varmekilder. Overskudsvarme som kilde har været det primære fokus hidtil, og det er lykket at opnå ca. 100 MW varme kapacitet baseret på dette, som skal idriftsættes i løbet af 2020 (se nedenstående tabel). Fra 2021 vil disse producere op mod 500 GWh fjernvarme om året - 18% af totalproduktionen. Dermed vil knap halvdelen af kulbaseret fjernvarme blive erstattet af eldrevet varmepumper inden for ganske kort tid.

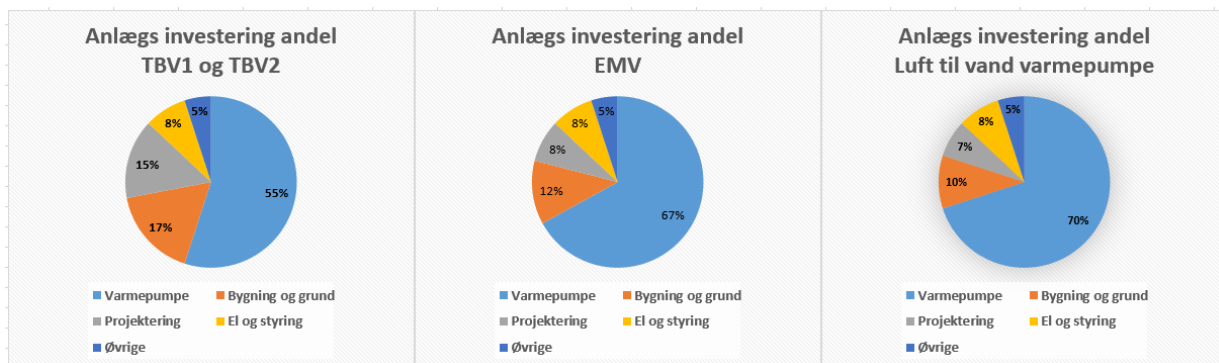
| Anlæg | Kilde (Overskudsvarme) | Varmeeffekt [MW] (installeret) | System COP årssnit | Fjernvarme temperatur retur/frem [°C] | Årlige varme produktion [GWh] | Projekt status | Idrifts. tidspunkt |
|------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| TBV1 | Data center 27° C | 24 | 4,8 | 40/70 | 160 | Under idriftsættelse | Forår 2020 |
| TBV2 | Data center 27° C | 20-26 | 5,1 | 40/70 | 60-100 | Under konstruktion | Efterår 2020 |
| EMV | Spildevand 11° C | 20 | 3,9 | 40/65 | 100 | Under konstruktion | Efterår 2020 |
| B7 komponent køling | Komponent 27° C | 15 | 4,5 | 38/65 | 40 | Under idriftsættelse | Slut 2019 |
| B8 røggas kondensering | Røggas 27° C | 10 | 5,1 | 38/59 | 60 | Under konstruktion | Efterår 2020 |
| FFA komponent køling | Komponent 27° C | 6 | 4,5 | 38/65 | 50 | Under konstruktion | Efterår 2020 |
| Total | | 95-101 | | | 460-500* | | Fra 2021 |

Figur 3: Oversigt over FVF's projekter

FVF har ønsker om at udvide elvarmepumpe kapaciteten yderligere. Med ovennævnte anlæg betragtes overskudsvarme som kilde værende udtømte, og derfor kan udvidelse primært kun ske ved at benytte naturlige kilder som luft og fjordvand. Disse findes i store mængder, men er i en noget dårligere termodynamiske kvalitet, hvorfor der er behov for dybde gående teknisk optimering for at gøre det rentabelt. Derfor finder FVF dette projekt meget relevant.

FVF har i 2019 haft et 10-12 MW luft til vand varmepumpe i udbud. Der indkom flere tilbud, og total anlægsinvestering blev 90-120 MDKK, dvs. 9-10 MDKK/MW varme ved 0 grader ude luft og 40/70 grader fjernvarme. Anlægs COP ved disse betingelser blev 3,0-3,4. Det samlede varme produktionsomkostning over 20 år vurderes til at ligge på samme niveau som med en flis fyret kedel eller kraftvarme anlæg, som er FVF's alternativ. Dog finder FVF luft til vand varmepumpe i denne størrelse til at være noget mindre teknologisk modne end flis kedler og kraftvarme. Særligt anlæggets rådighed hen over vinteren er vigtigt for økonomien. Her tvivler FVF på kapaciteten og COP i forhold til afrimning og luftkortslutning ved forskellige vejrforhold. FVF finder også anlægsinvesteringen til at være lidt for høj. Dette vurderes til at skyldes for få leverandører, manglende erfaringer og for meget teknologisk usikkerhed. FVF har derfor udskudt indførelse af større luft til vand varmepumpe længere ud i fremtiden – indtil anlægsprisen bliver lavere, og der kommer mere erfaringer med anlæggets performance især om vinteren.

Total anlægsinvestering for en luft til vand varmepumpe er som skrevet for oven 9-10 MDKK/MW varme. Til sammenligning er tilsvarende pris for anlæggene i tabellen med overskudsvarme 5-6 MDKK/MW varme. Fordeling af investeringen for de største anlæg er vist i nedenstående figur. Her ses det at den høje pris på en luft til vand varmepumpe anlæg ift. de to øvrige anlæg primært skyldes varmepumperne inklusiv især energi optager gården. FVF har også erfaret at total entreprise udbud giver betydelige projekterings besparelse. TBV1 og TBV2 er del entreprise udbud, mens de to øvrige er total entreprise udbud. Den relative høje andel af bygnings pris for TBV1 og TBV2 skyldes særlige arkitektoniske krav. Omkostningerne for TBV 1 og 2 og EMV-anlæggene er realiseret, mens luft til vand varmepumpe er budgetteret.



Fordelingen af omkostningen over 20 år ses i nedenstående figur, som er meget ens for alle type anlæg. Her ses det at omkostning til el og afgifter udgør en meget stor del. Denne er meget relateret til COP'en, hvilket igen taler for relevansen af dette projekt.



Når et varmepumpeprojekt starter som idé, er der en hel del ting, der skal overvejes fra idé opstår over valg af system, valg af entreprenør, mm til kontrakten er underskrevet.

Økonomiske overvejelser

Indirekte eller direkte system. Her varierer prisen på hver energioptager fra ca. 190.000 kr. for en model til brine til mellem 200-230.000 kr. for en model til NH₃ med direkte fordampning. NH₃-modellen giver den bedste COP, men det er til gengæld samtidig et mere kompliceret anlæg, hvor der også er flere sikkerhedsmæssige og godkendelsesmæssige forhold, der skal tages i betragtning.

Fælles for begge typer af anlæg er, at det skal vurderes om det område, hvor anlægget tænkes placeret, egentlig er egnet til opstilling af et større varmeoptageranlæg. Her tænker jeg dels på afstande til bygninger, der kan "forstyrre" anlæggets drift. Med forstyrrelser tænker jeg bygninger, der virker som støjreflektorer, spærre for luftafkastet fra energioptagerne og evt. leder den naturlige forekommende vindretning i forkerte retninger i forhold til optimal drift. Dels på afstande til naboer, der kan blive generet af anlæggets støjbidrag i området. Her er det ikke altid nok at kunne henvise til og overholde de vejledende krav. Det er vigtigt at naboer, "så at sige" er med på ideen, da man ellers kan se frem til en strøm af klager, reelle eller mindre reelle. Et andet aspekt er det arkitektoniske, som jeg erfaringsmæssigt ved har mindst lige så stor betydning som det rent tekniske vedrørende f.eks. lyd. Hvis en nabo kan se anlægget, kan han også høre det. Derfor anbefaler jeg, at der tages videt muligt hensyn til det arkitektoniske, ved at hegne og pakke anlægget ind, så det derved fremstår harmonisk og indbydende.

Planlægningsfaser for luft-vand varmepumper til fjernvarmeproduktion



Foto: Slagslunde Fjernvarme, 1 MW_{varme}, 2020

Introduktion

Varmepumper til udnyttelse af udeluft som varmekilde er i kraftig vækst, grundet en række økonomiske og samfundsmæssige forhold, som alternativ til fossile brændsler. I denne udvikling er en række spørgsmål til miljø, lovgivning og organisering i forbindelse med planlægningen dukket op.

I dette dokument skitseres processen for planlægning af luft-vand varmepumper til fjernvarmeforsyning. Herunder beskrives nogle af de centrale forhold og problemstillinger der med fordel kan tages højde for i den sammenhæng. Indholdet bygger på erfaringer fra PlanEnergi's arbejde planlægning af luft-vand varmepumpeprojekter. Det skal ikke ses som en udtømmende beskrivelse, men som et overblik over processen og relevante forhold herunder.

Idéudvikling og strategi

En eldrevet luft-vand varmepumpe til fjernvarmeforsyning kan i mange tilfælde være en god og attraktiv løsning for fjernvarmeverker, økonomisk set, men også fra et energi- og miljømæssigt synspunkt. Vurderingen af om denne teknologi er den bedste løsning for et konkret værk vil dog ofte kræve en nærmere analyse og sammenligning med relevante alternativer. Herunder kan indgå stillingtagen til virksomhedens udvikling på længere sigt, formål med nye investeringer, tidshorisont for nye initiativer samt involvering af relevante parter.

Beslutningsgrundlag

Forud for en investeringsbeslutning får mange fjernvarmeverker udarbejdet et beslutningsgrundlag, der opstiller og summerer de væsentligste forhold angående en beslutning om investering i ny produktionskapacitet, fx en luft-vand-varmepumpe. Dette vil typisk indeholde flere forskellige alternativer til den nuværende situation, en analyse og vurdering af økonomien for virksomheden ved forskellige løsninger, fremtidsudsigter for forsyningen og eventuelle lovgivningsmæssige eller relevante reguleringsmæssige forhold.

Herunder uddybes yderligere en række elementer som kan indgå i et beslutningsgrundlag.

Opstilling af alternative løsninger

En vurdering af hvilke alternative løsninger eller muligheder virksomheden har for sin fremtidige drift, er ofte et centralt element i et beslutningsgrundlag. Som regel indeholdes en vurdering af hvordan situationen vil se ud uden nye tiltag. Det kan fx være varmepumper med forskellige varmekilder (grundvand, udeluft mv.), en biomassekedel, industriel overskudsvarme (evt. med varmepumpe) eller transmissionsledning til naboværk.

Økonomiske konsekvenser

Økonomien for værket og varmekunderne er et centralt element i et beslutningsgrundlag. Det vurderes hvor meget værket kan spare på driftsomkostninger og hvordan varmeprisen for kunderne påvirkes. En luft-vand-varmepumpe er generelt set tung i investering hvorimod den har lave driftsomkostninger sammenlignet med andre alternativer. Det kan også være relevant at vurdere om der er støtteordninger e.l. forbundet med nogle alternativer. Det samlede finansieringsbehov bør også vurderes og finansieringsmuligheder skitseres.

Vurdering af energiomsætning, miljøforhold og samfundsøkonomi

En luft-vand-varmepumpe har generelt set små miljømæssige påvirkninger, og det kan være relevant i sammenligningen mellem alternativer, fx ved forbrændingsanlæg og de følgende emissioner til luft. Dertil bør det vurderes om der kan findes samfundsøkonomisk fordel ved de forskellige alternativer, da dette er et krav for kommunens godkendelse af projektet.

På baggrund af dette samlede overblik kan bestyrelsen, driftsansvarlige og andre interessenter på et fælles kvalificeret grundlag diskutere de forskellige muligheder og deres konsekvenser og eventuelt træffe beslutning om at gå videre med en konkret planlægning.

Tekniske og miljømæssige forhold

Når der er truffet beslutning om at gå videre med den konkrete planlægning, bør en række forhold vurderes. Placeringen af varmepumpen og tilhørende energioptagere kan give en række tekniske og miljømæssige fordele og ulemper, som med fordel kan overvejes inden denne fastlægges. Herunder er en række væsentlige forhold i planlægningen af en luft-vand-varmepumpe oplyst.

Tilslutning til eksisterende infrastruktur

Eldrevne luft-vand varmepumper kræver en tilslutning til elnettet, og ved større anlæg er der ikke altid tilstrækkelig kapacitet til forsyning i det eksisterende elnet, hvilket skal håndteres i samarbejde med det lokale elnetselskab. Varmepumper kan også komme i betragtning til forskellige net-abonnementer og tariffer afhængigt af størrelse, forventet drift, mm hvilket kan have stor betydning for anlæggets driftsøkonomi.

Hvis varmepumpen placeres udenfor hovedledningsnettet eller helt udenfor fjernvarmeområdet, vil der være behov for en ny hovedledning eller transmissionsledning. Sådanne kan kræve projektgodkendelse hvis de ikke er inkluderet i den for varmepumpen, samt andre natur og miljø-relaterede godkendelser, så dette skal indtænkes i projektet fra starten.

Støj

Luft-vand varmepumper vil forårsage støj fra blæserne på energioptagerne, når anlægget er i drift. Det kan nogle steder være problematisk hvis det placeres nær støjfølsom arealanvendelse, så som beboelse eller offentlige rekreative områder. Der kan være fastsat støjkrav i lokalplan, men støjkrav kan også reguleres gennem virksomhedens miljøgodkendelse. Selvom støj udviklingen kan give udfordringer, findes der dog også eksempler på at luft-vand varmepumper er indpasset i meget bynære omgivelser ved brug af det rette anlægsdesign samt støjskærmende foranstaltninger.

Ammoniak og risikovirksomhed

Anlæg der anvender ammoniak som kølemiddel kan komme i betragtning som risikovirksomhed jf. Risikobekendtgørelsen. Hvis anlæggets ammoniak-fyldningen er over 5 ton og ligger indenfor 200 m af beboelse, institutioner eller lignende arealanvendelse, vil det blive kategoriseret som en risikovirksomhed. Risikovirksomheder skal bl.a. udarbejde en forebyggelsesplan, beredskabsplan og ledelsesmæssige procedurer til løbende kontrol af at sikkerheden lever op til kravene. Ved varmepumpeanlæg fra omkring 5 MW varme og direkte fordampning kan grænsen på 5 ton ammoniak blive aktuel. Der kan dog gøres forskellige tiltag i anlægsdesignet for at nedbringe ammoniakmængden. Fx indarbejdelse af en glykol-kreds i energioptagerne som dog skal opvejes mod en lavere virkningsgrad.

Afledning af kondensvand

Mulighederne for afledning af kondensvand bør undersøges, da der især for større anlæg i perioder kan dannes en del kondensat, som skal håndteres. Som udgangspunkt skal det nedsives på egen matrikel, og alternativt ved afledning til nærliggende grøft, drænledning eller en regnvandskloak. Hvis disse heller ikke er mulige, kan der blive behov for afledning til spildevandskloak, hvilket dog grundet håndteringsomkostningerne typisk bør være den sidste løsning.



Foto: Støvring Kraftvarmeværk, 7 MW_{varme}, 2020

Myndighedsbehandling

I forbindelse med planlægningen af en luft-vand varmepumpe til fjernvarmeforsyning vil en række myndighedsforhold skulle belyses. Nedenfor bringes en liste over hvad der erfaringsmæssigt set er mest

relevant i forhold til denne type anlæg. Bemærk, at den kommunale behandling af projekterne kan variere med den pågældende kommunes procedurer, fortolkning af regler, beslutningsgange i forvaltningerne samt særlige forhold i kommunen i øvrigt.

Projektforslag

En luft-vand varmepumpe til fjernvarmeforsyning på over 0,25 MW_{varme} er omfattet af Projektbekendtgørelsen, og kræver derfor en projektgodkendelse som meddeles af kommunen. Ved store eller centrale fjernvarmeområder skal der forud også søges dispensation fra kraftvarmekravet i forbindelse med planlægning af en varmepumpe. Som grundlag for kommunen vurdering og afgørelse skal indsendes et projektforslag, der skal redegøre for projektets konsekvenser, og herunder kunne påvise positiv samfundsøkonomi i projektet.

VVM-anmeldelse

VVM-bekendtgørelsen omfatter anlæg til fjernvarmeproduktion, herunder en luft-vand varmepumpe, hvor der stilles krav om en anmeldelse af anlægget. Anmeldelsen skal ske til kommunen og indeholde en fast række oplysninger om anlægget. På baggrund af dette vurderer kommunen om der skal udarbejdes en mere omfattende VVM-redegørelse for anlægget førend det kan tillades, hvilket i mange tilfælde ikke vil være nødvendigt.

Miljøgodkendelse

Etablering af nye anlæg til fjernvarmeproduktion kræver typisk at virksomheden miljøgodkendes af kommunen. Hvis en varmepumpe placeres i umiddelbar tilknytning til et eksisterende godkendelsespligtigt anlæg, vil etablering af en luft-vand-varmepumpe udløse krav om en opdatering og revurdering af miljøgodkendelsen. Placeres varmepumpen derimod på en selvstændig matrikel vil det typisk ikke kræve miljøgodkendelse.

Lokalplan

I nogle tilfælde kan det være nødvendigt med en opdatering af en eksisterende lokalplan eller en dispensation herfor. Det kan være at en luft-vand varmepumpe ikke ligger indenfor hvilke aktiviteter der er tilladt i lokalplanområdet eller at der er fastsat begrænsninger på fysisk udformning af byggeri, fx højden. En sådan dispensation søges hos den pågældende kommune.

Nedsivning- og/eller afledningstilladelse

For kondensvandet fra energioptagerne (se længere oppe) vil kommunen ofte kræve en nedsivning eller afledningstilladelse, som for regnvand fra tag og befæstede arealer. I denne vurdering kan placering af drikkevandsinteresser også bringes ind og der kan stilles krav i forhold til risiko for læk fra anlægget.

Byggetilladelse

Byggetilladelse søges hos kommunen inden igangsætning af byggeri og det kan være en forudsætning at der er fundet afklaring på nogle af ovenstående forhold inden tilladelsen kan meddeles, fx dispensation fra lokalplan.

5.3. Projektering og installation

Dette underafsnit i rapporten omtaler investeringsomkostninger, detaljeret anlægsdesign, energiøkonomisk optimering, detaildimensionering, specifikation af indkøb, bestilling, levering, montage, ...

Hver enkelt leverandør af varmepumpeanlæg har udviklet sit eget design-koncept, der primært bygger på deres eksisterende viden og erfaring fra køleinstallationer – suppleret med og videreudviklet med nye erfaringer fra etablerede store udeluftvarmepumper.

Man forsøger at holde stilen og genbruge mest muligt af design-konceptet for at minimere omfanget af ny engineering, der både er tidskrævende og forbundet med risiko for tekniske udfordringer ved uafprøvede løsninger. Dette gælder f.eks. for opbygning af ventilstationer, kompressorbestykning, samt opbygningen af varmevekslersystem for opvarmning af fjernvarmevandet.

Til ammoniakanlæg benyttes både stempelkompressorer og skruekompressorer i forskellige konstellationer. Fordampere opstilles hensigtsmæssigt i forhold til lyd, kold luft og omgivende beboelse med luftgennemstrømning i både opadgående eller nedadgående retning. Anlægsopbygning foretages både med pumpecirkulation og naturlig cirkulation med stænkudskillere.

Anlægsudformning

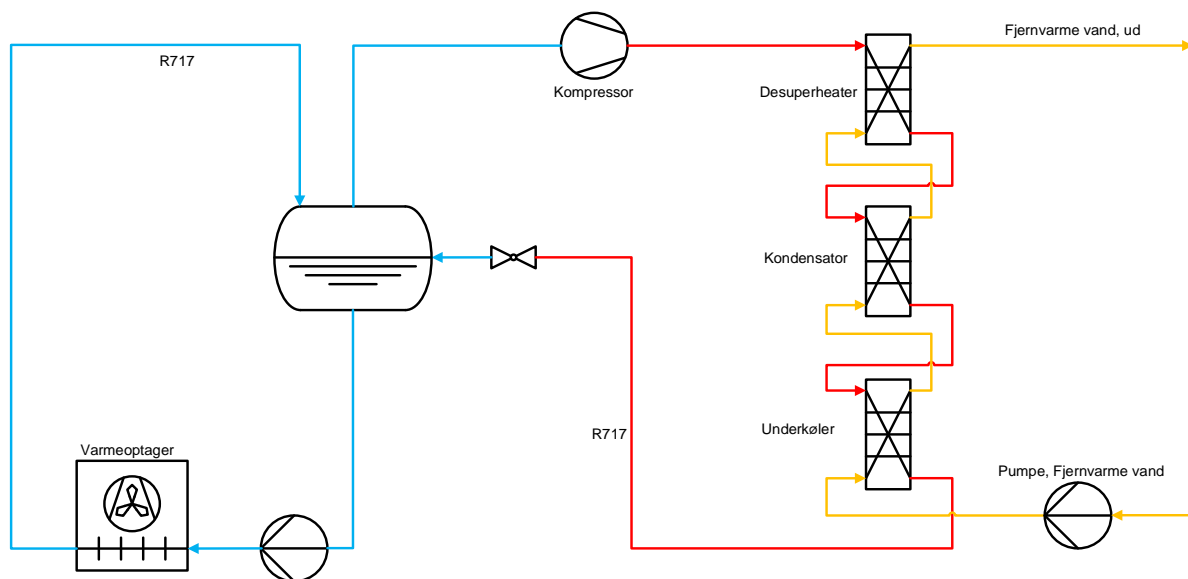
Når skal vælges anlægsudformning er det to muligheder:

1. Direkte anlæg med fordampende kølemiddel i varmeoptageren, figur 1
2. Indirekte anlæg med en brinekreds mellem varmeoptager og kølemiddel, figur 2

Ad 1) Direkte anlæg

Denne type anlæg har det bedste driftsøkonomi, da anlægget vil køre med en højere fordampningstemperatur end det indirekte anlæg. Forskellen i fordampningstemperatur vil være ca. 5°K, hvilket betyder et mindre energiforbrug på op til 25%.

Når energioptageren er placeret i en stor afstand fra selve varmepumpen, kan et indirekte anlæg overvejes for at minimere fyldning af kølemiddel. Ammoniakfyldningen vil være begrænset til ammoniakken som er i kondensator, receiver og fordamper, der fysisk er placeret på samme bundramme.

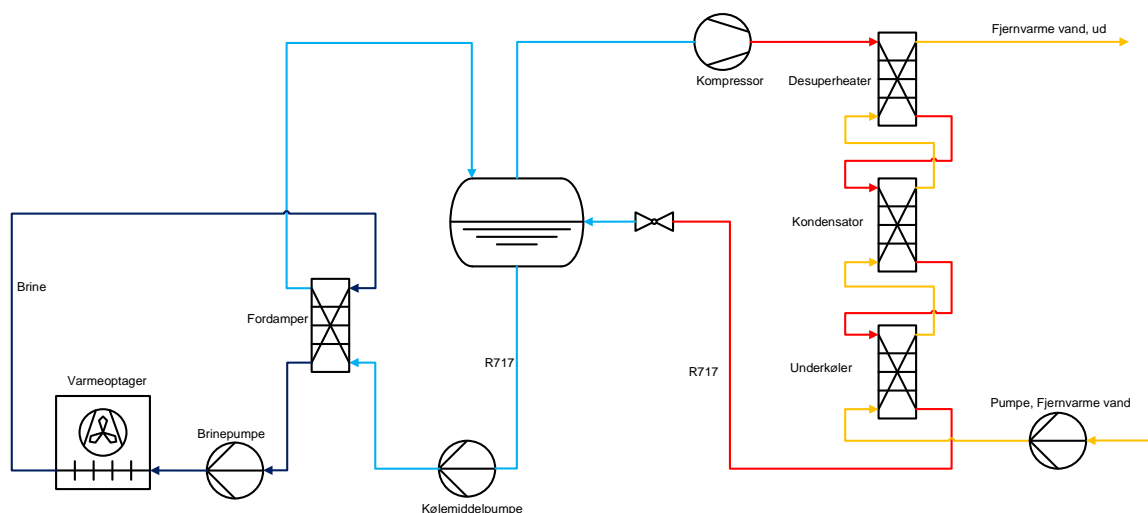


Figur 4 Direkte fordampning i varmeoptager

Ad. 2) Indirekte anlæg

I et indirekte anlæg er der en brinekreds mellem fordamperen på varmepumpen og varmeoptageren. Indirekte anvendes primært, hvor der er store afstande mellem den fysiske placering af varmepumpen og varmeoptageren. Dette gøres for at minimere fyldningen af ammoniak. I figur 2 er der vist en principiel opbygning af et indirekte anlæg.

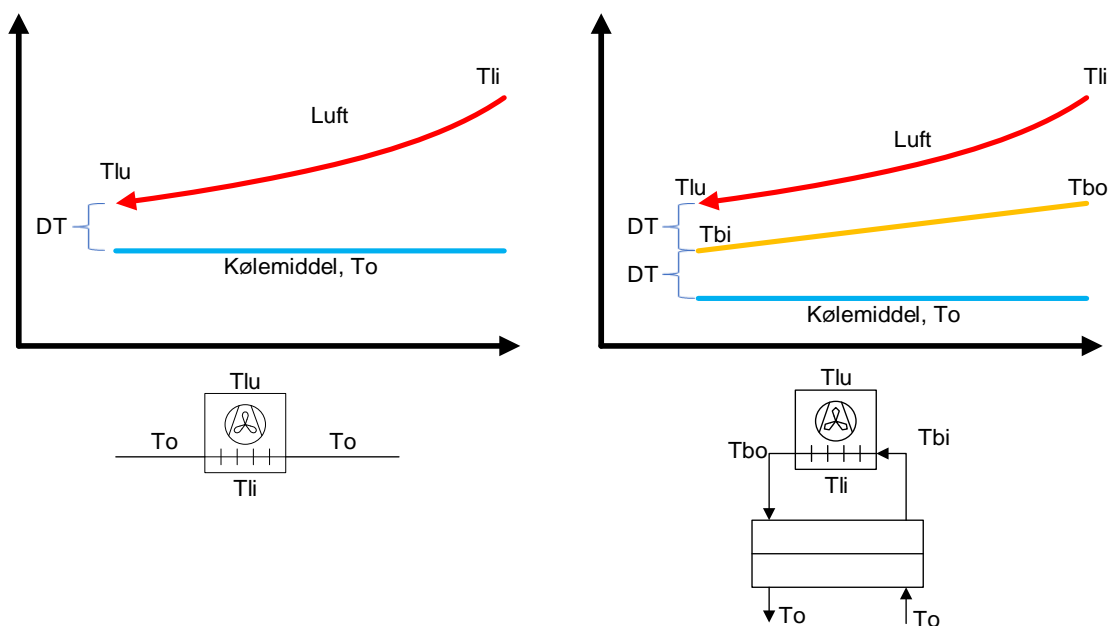
Ulemperne ved at anvende et indirekte anlæg er et højere energiforbrug sammenlignet med det direkte anlæg på grund af en lavere fordampningstemperatur af kølemidlet.



Figur 5 Indirekte anlæg med brine i varmeoptager

Temperaturprofil i indirekte og direkte anlæg

Typisk temperaturprofil i et direkte og indirekte anlæg mellem luft, brine og kølemiddel vist i figur 3.



Figur 6 Temperaturprofil i direkte/indirekte anlæg

Temperaturforskellen DT i figur 4 ligger typisk i området fra $3-5^{\circ}K$, så fordampningstemperaturen i indirekte anlæg vil ligge $3-5^{\circ}K$ lavere end i direkte anlæg, og dermed et øget effektforbrug på over 10% for det indirekte anlæg i forhold til det direkte anlæg.

I dette projekts arbejdsplan WP03 Optimering har DTU bl.a. udført og foretaget analyse af forskellige CFD-simuleringer, der har resulteret i en guideline. Dette arbejde dokumenteres i en selvstændig delrapport, men omtales kort her.

Analysis of Cold Air Recirculation of the Evaporators of an Air Source Heat Pump Using CFD Simulations [22]

Abstract:

The present study investigates the cold air recirculation of the evaporators of an air-source heat pump. The air-source heat pump corresponds to a 5MW heat pump located in the Danish city of Brædstrup, which is composed of 20 horizontal evaporators. The evaporators have been implemented in a CFD model, where the influence of the outdoor wind direction and intensity on the recirculation has been investigated. First, the air recirculation was analysed with no surrounding obstacles. On a second time, the CFD model was updated by including the surrounding building and the real ground topology, to analyse their influence on the air recirculation. The results show that recirculation occurs whichever the wind direction, due to the turbulent behaviour of the flow around the evaporators. The results also show that the presence of a building intensifies the recirculation when it is placed directly upstream of the evaporators due to the presence of vortices in the wake of the building. However, the ground depression helps to reduce the recirculation by having additional energy dissipation due to the sudden change in the ground direction.

Guidelines to prevent air recirculation of an air-source large-scale heat pump [23]

Indledning:

The following guidelines have been developed based on the CFD studies that were carried out in WP 3 of the project AirToHeat (EUDP project number 64019-0035). The guidelines provide concise recommendations, for more details on the CFD results and CFD modelling details we refer to Rogie et al.

Det kan ikke kun være det rent tekniske, der indgår i overvejelserne, når et anlæg skal projekteres. Der skal i lige så stor grad tages hensyn til de mere bløde værdier. Nogle af de bløde værdier, som også skal tages i betragtning, er ting, der skal indgå i den tekniske vurdering. F.eks. har det vist sig at være en god ide at skærme kanten af optageranlægget med en mur/afskærmning, der modvirker kortslutning af luften til kølerne. Samtidig kan afskærmningen tjene som støjdemping og gøre at anlægget fremstår mere som en bygning end som et teknisk anlæg. I valget af materialer har vi (Luve) valgt at tilbyde kabinettet i en C4H udførelse, med valg af enten AISI 304 eller AISI 316 rør og finner i udførelse, enten som præ-coatede eller som søvandsbestandige AlMg2.5. Det giver en mulighed for at tilpasse energioptageren til alle placeringer i Danmark - havnært så vel som inde i landet.

C4H er betegnelsen for en korrosionsklasse efter EN ISO 12944, som korrosionsbeskyttelse af stålprodukter inddeles i. Jo højere tal jo højere er produktets beskyttelse mod korrosion. C4H er f.eks. beregnet for opstilling i kystnært område.

AISI 304 / EN 1,403 (18-20 % Chrome og 8-10% Nikkel) og AISI 316/ EN1.4401 (17 % Chrome, 12% Nickel og 2 % Molybdæn) er betegnelser for rustfrit stål, hvor AISI 316 regnes for at have en større modstandskraft mod korrosion end AISI 304. AISI 304 AlMg2,5 er en aluminiumslegering med 2,5 % Magnesium indhold, Det kaldes også søvandsbestandigt aluminium.

Et andet aspekt, der skal tages hensyn til, er afkølingen af den omgivende luft. Her skal det tænkes ind i projektet, om der er naboer, forbipasserende, beplantninger og lignende, der kan blive påvirket negativt af den nedkøling af luften, som der finder sted.

Drænvand er en nødvendig følge af drift af varmeoptageranlæg for udeluft, og det skal undersøges og evt. søges om tilladelse til at dræne dette vand væk fra anlægget. Vand bliver til is, når temperaturen kommer under 0°C. Det betyder, at der i perioder kan der opbygges betydelige mængder is under energioptagerne. Her vil det være en god ide at hegne anlægget ind, så der ikke kan komme uvedkommende personer ind til anlægget i den tro, at det kan bruges som skøjtebane. Vi (Luve) forslår desuden at optageranlægget bygges i en højde over niveau, så en isopbygning selv i en meget kold vinter ikke kan nå en højde, der reelt forstyrrer driften anlægget. Når temperaturerne igen skifter til positive værdier, vil isen hurtigt smelte og vandet dræne væk.

Som det ses af en tidligere Figur 3: Oversigt over FVF's projekter, er FVF ved at få en del erfaringer med projektering og installation af større varmepumpe anlæg. Overordnet har leverandørerne godt styr på installationerne, hvor alle projekter har fulgt tidsplanerne. Dog har idriftsættelse af TBV1 været udfordrende pga. fejl på en del af kompressorerne. FVF har en formodning om, at det skyldes de kører på grænsen af designet, og at man trods alt stadig har begrænset erfaringer med så høje udgangstemperatur i denne størrelse. Under markedsundersøgelse og udbud af anlæggene er det FVF's erfaring at antal leverandører af passende kompressorer til anlæg over 10 MW er meget begrænset i Danmark. Projekter i disse størrelser kræver godkendelse efter forsyningsloven – det såkaldte projekt godkendelse, hvor det skal vises at projektet er billigere samfundsøkonomisk i forhold til en række alternativer. Billigst alternativ for FVF er i dette tilfælde en flis fyrte kraftvarme anlæg som erstatning for eksisterende kul fyrte anlæg. Det viser sig at varmepumpe anlæggene er klart billigere. Dette skyldes primært de lave investeringer og gode COP'er pga. de relative høje temperaturer fra overskudsvarmen. FVF har også fået

projekt godkendelse til at installere luft til vand til ovenstående investeringer og COP'er. Dog er samfundsøkonomien dog noget mindre prangende i forhold til overskudsvarme baseret varmepumpe anlæggene.

Som udgangspunkt er det ikke tilladt at installere større varmepumpe anlæg (som grundlasts anlæg) i et centralt fjernvarmeområde pga. det såkaldte kraftvarmekrav (der skal laves el og varme samtidig). Der kan søges dispensation fra dette krav, og i Odense har det været en formel sag at få dette godkendt.

Projekt godkendelse og dispensation fra kraftvarmekravet søges sammen og tager typisk 3-4 måneder. Bygge og miljø tilladelser har typisk taget 3-4 måneder. De relative korte tidsbehandling skyldes, at der under projektering er taget særligt hensyn til støjkrav og ammoniak indhold. Alle anlæg er vel støj isoleret med solide betonvægge. TBV1 og TBV2 vil til sammen indeholde mere end 5 tons ammoniak, men da de ligger mere end 200 m fra kontorer og beboelse kræves der ingen særlige sikkerheds godkendelse. Generelt har myndighederne været behjælpelig med hurtige behandlings processer, da varmepumper gerne ses som erstatning for diverse fossile- og biobrændsler. For luft til vand varmepumper, hvor der køres med ammoniak i energioptagerne, kan mængden af ammoniak kræve særlige godkendelser. Tilmed skal der også tages hensyn til støjen fra blæserne, som kan være svære at dæmpe. FVF har analyseret på egnede placering af evt. fremtidige anlæg med særligt fokus på ammoniak fyldning og støjkrav. Dette sammen med hensyn til fjernvarmenettet og elforsyning er det kommet frem til 2-3 egnede placeringer decentralt i Odense og omegn, som til sammen giver 20-40 MW varme. Centralt ved Fynsværket kan der være plads til et anlæg på 30-50 MW varme yderligere. Det skønnes at FVF vil få brug for 60-80 MW varmepumper (udover de 100 MW i tabellen) baseret på luft og fjordvand fra tidligst 2025. 20-30 MW af dette kan tænkes at være luft til vand varmepumper.

5.4. Drift

Dette underafsnit i rapporten omtaler driftsomkostninger, energieffektivitet, styring og regulering, tilrimning, afrimning, støj, afkølet luft, ...

I forhold til anvendelse af meget store frekvensomformere evt. med højspændingsforsyning skal der tages hensyn til og eventuelt træffes foranstaltninger med THD-filtre, så risiko for at der opstår elektrisk støj i nettet, der kan påvirke nærliggende virksomheder.

Optimal drift af fordampere med varmeoptag fra udeluft er som forudset udfordrende i forhold til effektivitet, styring og regulering, tilrimning, afrimning, lyd og afkølet luft. CFD-arbejdet i projektet med simulering af luftstrømme viste at der findes situationer med stor grad af recirkulation af afkølet luft, hvorved mængden af optaget varme reduceres. Det er desuden konstateret, at der kan findes olie indvendig i fordamper rørene, hvilket også medvirker til at reducere varmeovergangen, såvel som rim og snavs på ydersiden kan gøre overgangstallene dårlige og dermed reducere mængden af optaget varme.

Med hensyn til lydforhold har det vist sig at være vanskeligere end forventet at overholde lydkravene og at det ikke kun er lyd fra de mange fordamper blæsere, der volder problemer også kompressorer ventilsystemer, kan være lydkilder af uønsket art.

Ammoniak har en karakteristisk lugt - selv ved meget små koncentrationer, hvilket bevirker at utætheder let opdages i rum hvor anlægsdele med ammoniak befinder sig. I projektet har vi erfaret at pakninger i tilslutninger til pladevarmevekslere er et sted, hvor utæthed kan forekomme.

Det fremgår af figur 4 at der allerede er installeret adskillige store varmepumper med luft som varmekilde og der er derfor høstet de første driftserfaringer med store varmepumper med luft som varmekilde.

På varmepumpens varmeside er der ikke problemer, da installation her er en velkendt teknologi. Udfordringen findes på den kolde side af varmepumpen, hvor der er mest fokus på:

1. Støj fra ventilatorerne på varmeoptageren
2. Lokalt mikroklima på grund af nedkøling af luft
3. Recirkulation af afkølet luft fra varmeoptageren
4. Rimopbygning på varmeoptageren
5. Afrimningsproces
6. Valg af direkte eller indirekte anlæg

Ad 1). Der krav til støjgrænsen i skel i boligområder, hvilket fremgår af nedenstående tabel, taget fra I Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984

| Døgnperiode | Støjgrænse L_r for boligområder | | |
|--|-----------------------------------|---|---|
| | Sommerhusområder | Tæt lav boligområde (parcelhuse, rækkehuse mv.) | Etageboliger Blandet bolig og erhverv Det åbne land (enkeltliggende huse) |
| Hverdage kl. 07 – 18 Lørdage kl. 07 – 14 | $L_r \leq 40$ dB | $L_r \leq 45$ dB | $L_r \leq 50-55$ dB |
| Hverdage kl. 18 – 22 Lørdage kl. 14 – 22 Søndage kl. 07 – 22 | $L_r \leq 35$ dB | $L_r \leq 40$ dB | $L_r \leq 45$ dB |
| Alle dage kl. 22 – 07 | $L_r \leq 35$ dB | $L_r \leq 35$ dB | $L_r \leq 40$ dB |

Inden idriftsættelse af varmepumpen skal der laves en støjberegning, der dokumenterer at gældende regler til støj i skel overholdes. Der er mange faktorer som har indflydelse på støjen, men her kan nævnes den fysiske placering af varmeoptageren ift. bygninger, landskab, vindretning mm.

Formålet med et varmepumpeanlæg er at levere varme til de tilkoblede forbrugere billigst muligt. Her konkurrerer varmepumpen med

- Naturgas
- Halm
- Træflis
- Kul
- Olie

Derfor er det vigtigt at anlægget projekteres rigtigt, så det kan drives så effektivt og økonomisk, som det er muligt, for at klare sig i konkurrencen med de ovenstående alternative løsninger.

Vi (Luve) har valgt at tilbyde en løsning, hvor vi blæser luften gennem ventilatoren og ned gennem kølefladen for at den optagne ventilatoreffekt i så stor grad som muligt kan bidrage til varmepumpens effekt. Dermed følger luftretningen også det naturlige; at kold luft falder ned og varm luft stiger op. Det giver også en luftretning i samme retning, som det kondenserede vand fra luften, hvor en modsat retning vil forsøge at fastholde vandet i kølefladen med forøget trykfald til følge og dermed også større energiforbrug på ventilatorerne. Afrimning skal udføres, når det er nødvendigt. Her har vi stadig til gode at finde den optimale metode til at afgøre hvornår, hvor længe og hvordan. Indtil nu har de anlæg, der er taget i drift benyttet sig af enten varm gas, varm væske eller en blanding af begge. Under alle tilfælde er der tale om et tab i den samlede virkningsgrad, hvorfor der foregår en del overvejelser og undersøgelser med henblik på at finde frem til den "rigtige" afrimningsform.

5.5. Service og vedligehold

Dette underafsnit i rapporten omtaler service- og vedligeholdelseskostninger, lovpligtige eftersyn, forebyggende vedligehold, ...

Der er krav til årlige lovpligtige eftersyn på køleanlæg og varmepumper med kølemiddelfyldning over 2,5 kg og dermed også til store udeluft varmepumper med flere ton ammoniak. Dette serviceeftersyn på varmepumpeanlæggene skal foretages af certificerede folk fra sagkyndige virksomheder med kvalitetsledelsessystem eller af certificerede folk på varmeværkerne.

Andre arbejdsopgaver på varmepumpeanlæggene skal også foretages af certificerede folk fra sagkyndige virksomheder eller af certificerede folk på varmeværkerne. På fjernvarmeværker findes der driftspersonale, der holder dagligt øje med driften, men disse personer har sjældent de fornødne certifikater til også, at måtte arbejde med certifikatkrævende opgaver, så disse arbejdsopgaver udføres normalt af den virksomhed, der har leveret og installeret anlægget og dermed har et detaljeret kendskab til anlægget. Der er normalt at værket indgår en 10-årig service- og vedligeholdelsesaftale med leverandøren, så anlægget tilstand dermed sikres. I praksis er det værkets folk, der overvåger anlæggets daglige drift og ringer til servicevirksomheden, når der opstår alarmer eller andre fejlsituationer med behov for udbedrende arbejde.

I store træk er anlægget vedligeholdelsesfri mht. energioptagerne. De skal efterses for forurening og vi (Luve) anbefaler at de jævnligt inspiceres. Ved behov kan de spules med en højtryksrens, men forsigtigt for ikke at beskadige finnerne. Der kan bruges en opløsning med varmt vand og en mild sæbe, der ikke angriber aluminium. Ventilatorerne er valgt ens for alle varianter af optagere af hensyn til tilgængelighed og nem opsætning ved evt. udskiftning af en defekt ventilator. Ventilatorerne forventes at blive det eneste, der i anlæggets levetid, kan forventes skulle foretage en vis udskiftning af.

Vi (Luve) har valgt at tilbyde den samme ventilator til alle varmepumpeanlæg og som følge deraf er de ventilatorer, der kører med meget lavt luftflow en anelse mindre energieffektive end de, der kører med stort luftflow. Vurderingen er, at de reservedelslogistiske fordele opvejer den minimale effekt, det har på anlæggets samlede effektivitet at kundedesigne en specifik ventilator til hvert enkelt individuelt varmepumpeanlæg.

6. Referencer

- [1] Jensen, T. G., & Jespersen, E. L. (2019). **Potentials and limitations for using ambient air as heat source for large-scale heat pumps**, Potentialer og begrænsninger ved brug af luft som varmekilde i storskala varmepumper.
- [2] Vestergaard, N., Kristofersson, J., Skovrup, M. J., Reinholdt, L., Wronski, J., & Pachai, A. (2017). **Design requirements for effective ammonia defrost systems**. Proceedings of the 7th Conference on Ammonia and CO2 Refrigeration Technologies. Ohrid, Macedonia: International Institute of Refrigeration.
- [3] Skovrup, M. J., Wronski, J., Vestergaard, N., Kristófersson, J., Reinholdt, L., & Pachai, A. (2017). **Energy Savings Comparing Pressure Controlled and Liquid Drain Controlled Hot Gas Defrost**. Proceedings of the 7th Conference on Ammonia and CO2 Refrigeration Technologies. Ohrid, Macedonia: International Institute of Refrigeration.
- [4] Kristófersson, J., Reinholdt, L., Vestergaard, N., Skovrup, M. J., Wronski, J., & Pachai, A. (2018). **Defrost Efficiency for Ammonia Evaporator Systems**. Proceedings of the 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. Valencia, Spain: International Institute of Refrigeration.
- [5] Vestergaard, N., & Skovrup, M. J. (2018). **Energy and Function Analysis of Hot Gas Defrost**. Technical Papers of the 40th Annual Meeting. Colorado Springs, Colorado, USA: International Institute of Ammonia Refrigeration.
- [6] Vestergaard, N. P., & Mikhailov, A. (2016). **Analysis of various ammonia defrosting systems**. Proceedings of the 12th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. Edinburgh, Scotland: International Institute of Refrigeration., 1023–1030. <https://doi.org/10.18462/iir.gl.2016.1172>
- [7] Kærn, M. R., Markussen, W. B., & Kristófersson, J. (2019). **Multi-objective optimization of low charge liquid overfeed ammonia evaporators for industrial refrigeration**. Bulletin De L'Institut International Du Froid, 2019-, 86–93. <https://doi.org/10.18462/iir.nh3-co2.2019.0011>
- [8] Rogie, B., Markussen, W. B., Walther, J. H., & Kærn, M. R. (2019). **Numerical Investigation of Air-Side Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of a New Triangular Finned Microchannel Evaporator with Water Drainage Slits**. Fluids, 4(4), 205. <https://doi.org/10.3390/fluids4040205>
- [9] Jørgensen, P. H., Ommen, T., Markussen, W. B., & Elmegaard, B. (2019). **Performance Optimization of a Large-Scale Ammonia Heat Pump in Off-Design Conditions**. Bulletin De L'Institut International Du Froid, 2019-, 107–114. <https://doi.org/10.18462/iir.nh3-co2.2019.0014>
- [10] Jørgensen, P. H., Ommen, T., Markussen, W. B., & Elmegaard, B. (2019). **Mapping of Coefficient of Performance for large-scale ammonia heat pumps for district heating systems**. Proceedings of the 25th IIR International Congress of Refrigeration.
- [11] Jørgensen, P. H., Ommen, T., Markussen, W. B., Rothuizen, E. D., Hoffmann, K., & Elmegaard, B. (2018). **Design and optimization of the heat exchanger network for district heating ammonia heat pumps connected in series**. Proceedings of The 13th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, 2018-, 1225–1235. <https://doi.org/10.18462/iir.gl.2018.1400>

- [12] Brice Rogie, Wiebke Brix Markussen (2020): **Literature review on air-recirculation in large scale air-source heat pump evaporators and simulations of these using CFD**. Internt DTU-dokument.
- [13] Jesper Koch (2018): **Anbefalinger til markedsgennembrud for store varmepumper**. Rapport fra Grøn Energi ved Dansk Fjernvarme.
- [14] Bjarke Lava Paaske, Kim S. Clausen, Hanne Kortegaard Støchkel (2017): **Drejebog til store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet**. Energistyrelsen, Grøn Energi. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Varme/drejebog_for_store_varmepumper.pdf
- [15] Bjarke Lava Paaske, Kim S. Clausen, Hanne Kortegaard Støchkel (2017): **Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet**. Energistyrelsen, Grøn Energi. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Varme/inspirationskatalog_for_store_varmepumper.pdf
- [16] Energistyrelsens rejsehold for store varmepumper (2016): **Store varmepumper i fjernvarmeforsyningen**. Energistyrelsen. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Varme/store_varmepumper_i_fjernvarmeforsyningen_final.pdf
- [17] John Flørning, Anders Carøe, Jens Christian Nielsen, Hanne Kortegaard Støchkel (2019): **Store varmepumper i fjernvarmen – driftserfaringer**, Rambøll, Dansk Fjernvarme, Grøn Energi. <https://www.danskfjernvarme.dk/viden-og-vaerktøjer/f-u-konto-subsection/rapporter/2018-03-erfaringer-med-store-varmepumper-i-fjernvarmen>
- [18] Grøn Energi, PlanEnergi, Dansk Fjernvarmes Projektselskab (2017): **Store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet**. Folder.
- [19] Jonas Lundsted Poulsen (2021): **Literature review on lubrication for compressors in high-temperature heat pump systems**. For internal use in SuPrHeat project.
- [20] PlanEnergi (2020): **Oversigt over store el- (og gas-) drevne varmepumper, som producerer varme til danske fjernvarmenet**. <https://planenergi.dk/wp-content/uploads/2020/12/Oversigt-over-store-varmepumper-dec-2020-Dansk.pdf>
- [21] Dansk Energi (2016): **Grundbeløbet og betydning for fjernvarmeprisen**. Analyse. <https://www.danskeenergi.dk/sites/danskeenergi.dk/files/media/dokumenter/2017-08/GrundbelobetBetydningForFjernvarmeprisen.pdf>
- [22] Brice Rogie, Wiebke Brix Markussen, Jonas Kjær Jensen (2020): **Analysis of Cold Air Recirculation of the Evaporators of an Air Source Heat Pump Using CFD Simulations**. *Fluids*, 5(4), 186. doi:10.3390/fluids5040186
- [23] Brice Rogie (2020): **Guidelines to prevent air recirculation of an air-source large-scale heat pump**. Internt dokument udarbejdet til dette projekt



TEKNOLOGISK
INSTITUT