



Rapport

# Teknisk kravspecifikation ved udbud af store varmepumper til fjernvarme

Projekt nr. 2021-05  
Dansk Fjernvarme



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



# Rapport

## Teknisk kravspecifikation ved udbud af store varmepumper til fjernvarme

Projekt nr. 2021-05  
Dansk Fjernvarme

---

Filnavn: SHA Rapport ver 2023\_05\_15.docx

### **Udarbejdet af**

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

Maj 2023

Redaktør: Svann Hansen

## Indhold

1.	Indledning.....	4
2.	Formålet med projektet.....	5
	Kort beskrivelse af projektets formål.....	5
	Det udførte arbejde.....	5
3.	Teknisk kravspecifikation.....	6
	Tekniske parametre for varmepumpens funktion og drift.....	6
	Overordnede forhold.....	7
	Detaljerede forhold.....	9
4.	Krav til garantidata for varmepumpens ydelse, effektivitet, mm. ....	18
5.	Krav til testmetoder og eftervisning af faktisk drift.....	20
6.	Økonomiske konsekvenser ved afvigelse fra garantidata.....	24
7.	Referencer og henvisninger.....	26
8.	Bilag.....	27
	Detailprojektbeskrivelse.....	27

## 1. Indledning

Denne rapport indeholder dokumentationen for dét udrednings- og udviklingsarbejde, der er blevet udført i Dansk Fjernvarmes projekt 2021-05 med titlen "Teknisk kravspecifikation ved udbud af store varmepumper til fjernvarme".

I henhold til indgået aftale mellem Dansk Fjernvarme og Teknologisk Institut er det Teknologisk Institut, der har været projektansvarlig og haft projektledelsen.

Øvrige projektdeltagere har været:

- Dansk Fjernvarme
- Høje Taastrup Fjernvarme
- Fjernvarme Fyn
- Ringsted Forsyning

## 2. Formålet med projektet

### Kort beskrivelse af projektets formål

I ansøgningsskemaet til Dansk Fjernvarmes F&U-Konto er formålet med projektet beskrevet således:

*Projektet vil udarbejde en teknisk kravsspecifikation for varmepumpeinstallationer i fjernvarmesystemet, som kan anvendes, når nye varmepumpeinvesteringer skal i udbud. Kravsspecifikationen skal definere tekniske parametre for varmepumpens funktion og drift som kan eftervises i testfasen. Ved at have en kvalitets-sikret standard, som fjernvarmeselskaberne kan anvende i forbindelse med udbud sikres det, at fjernvarmeselskaberne får en optimal installation som driftsmæssigt lever op til de krav, der er stillet i udbuddet – herunder garantidata for varmepumpens ydelse og effektivitet. Leverandørerne får også nemmere ved at byde ind med et konkurrencedygtigt produkt når kravene til garantidata, test af den faktiske drift og de økonomiske konsekvenser som en afvigelse fra garantidata vil have, er entydigt bestemt i udbuddet.*

*Målet med projektet er at udarbejde retningslinjer for de tekniske krav og garantidata, der stilles i forbindelse med et udbud til varmepumpeprojekter. Dette skal være med til at sikre, at garantidata kan eftervises, så fjernvarmeselskaberne får det anlæg de var stillet i udsigt. Projektet skal bl.a. bygge på erfaringer fra fjernvarmeselskaber der har fået installeret store varmepumper, og hjælpe til, at fremtidige udbud kan have større fokus på en mere ensrettet specifikation af kravene til testmetoder og eftervisning af virkningsgrader og driftsøkonomi.*

Sammen med ansøgningsskemaet til Dansk Fjernvarmes F&U-Konto fandtes en detailprojektbeskrivelse, der er vedlagt som bilag til denne rapport.

### Det udførte arbejde

Projektet skulle have været afsluttet og afrapporteret den 31/12 2021 iht. indgået kontrakt, men af forskellige årsager er det desværre først lykkedes at få arbejdet færdiggjort i foråret 2023.

Høje Taastrup Fjernvarme har bl.a. bidraget med materiale vedrørende udbud for etablering af en kølecentral til Copenhagen Markets samt et varmepumpeanlæg ved Mølleholmen, der henter energien fra grundvand – begge anlæg er beliggende i Høje Taastrup.

Fjernvarme Fyn har bl.a. bidraget med materiale vedrørende udbud for en varmepumpeinstallation til Ejby Mølle, der henter energien fra spildevand.

Ringsted Forsyning har bl.a. bidraget med materiale vedrørende udbud af en varmepumpeinstallation til Ringsted Forsyning A/S, der henter energien fra udeluft.

### 3. Teknisk kravspecifikation

Dette afsnit i rapporten beskriver dét arbejde, der er blevet udført i projektet med hensyn til udarbejdelse af en teknisk kravspecifikation.

En teknisk kravspecifikation til en varmepumpeinstallation kan være meget enkel og udetaljeret eller meget kompliceret og uhyre detaljeret.

Det handler primært om at få kravene til installationen beskrevet så kort og præcist som muligt med et omfang og indhold, der sikrer, at et godt og effektivt anlæg bliver leveret.

Et fjernvarmeværk har sjældent intern viden og erfaring med store varmepumpeinstallationer, så derfor er formålet for dette projektarbejde at opstille en kravspecifikation til en varmepumpeinstallation og at danne det bedst mulige udgangspunkt og basisgrundlag for en hensigtsmæssig dialog med en udvalgt rådgiver om vedkommendes udarbejdelse af et udbudsmateriale.

Et rådgivende Ingeniørfirma med erfaring fra etablering af varmepumpeanlæg vil være god at entre med i forhold til få hjælp til og at tage hånd om hele processen fra idé til idriftsættelse af en varmepumpeinstallation. Disse firmaer er specialister i at specificere detaljerne til udbudsmateriale.

I skemaet nedenfor er rådgivere med erfaring fra varmepumpeinstallationer til fjernvarme angivet:

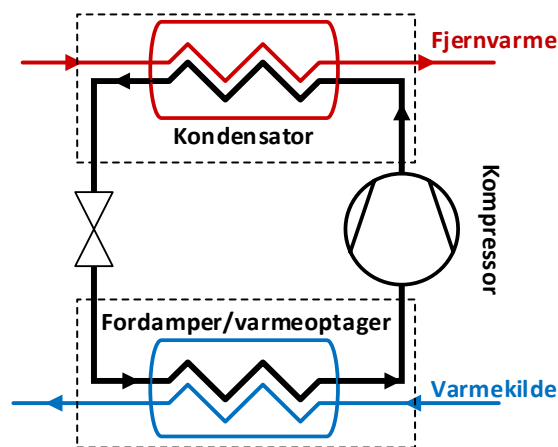
Rådgivende firma, der har erfaring med store varmepumper til fjernvarme
COWI A/S
NIRAS A/S
DFP Dansk Fjernvarmes Projektselskab
PlanEnergi
Tjæreborg

Kravspecifikationen i dette dokument omfatter kun i begrænset og nødvendigt omfang bygningsforhold. Kravspecifikationen omfatter primært diverse krav til selve varmepumpeinstallationen.

#### **Tekniske parametre for varmepumpens funktion og drift**

I dette afsnit er en række punkter og forhold beskrevet, der bør overvejes med hensyn til udarbejdelsen af en specifikation for designet af et varmepumpeanlæg.

Meget forsimplet består en varmepumpe af en varmeoptager-del og en varmeafgiver-del samt et varmepumpekredsløb med cirkulerende kølemiddel, som illustreret med figuren nedenfor.



Figur 1 Illustration af en varmepumpes opbygning.

Varmeoptageren henter varme fra en varmekilde, som f.eks. kan være havvand, søvand, grundvand, røggas, udeluft, spildevand eller andre tilgængelige kilder.

Varmeafgiveren afleverer varme ved et højere temperaturniveau til et fjernvarmesystem, som bl.a. kan indeholde en akkumuleringstank.

Varmepumpekredsløbet optager varme ved et lavt temperaturniveau og afgiver varme ved et højere temperaturniveau. Normalt er energioptaget fra varmekilden gratis. Der skal dog tilføres elektrisk effekt til varmepumpens kompressorer, pumper, ventilatorer og andre elforbrugende komponenter under drift, og dette eloptag koster normalt noget (når der er overskud i elnettet kan fjernvarmeværker få penge for at aftage el fra nettet).

Helt overordnet er konceptet bag varmepumper, at man typisk kan få i størrelsesorden 2,5-3,5 gange så meget energi ud på varmeafgiversiden i forhold til den elektriske energi, som skal tilføres. Man kalder dette forhold for virkningsgraden – normalt udtrykt som COP-værdien (Coefficient Of Performance) udregnet som afgivet varme [kW] divideret med samlet tilført elektrisk effekt [kW]. Desto større temperaturforskelle, der er mellem varmeoptagets temperaturniveau og varmeafgivelsens temperaturniveau – desto mindre bliver virkningsgraden.

## Overordnede forhold

Allerførst skal der tages stilling til nogle overordnede forhold vedrørende varmekilden, varmepumpesystemet og varmeafgiveren.

Afhængig af, hvilken type af varmekilde der ønskes anvendt, eller som det er muligt at anvende, skal temperaturforhold og energimængder for designet af varmepumpeanlægget kvantificeres. Dette kan f.eks. gøres som vist i efterfølgende skema med eksempler på forskellige varmekilder.

Varmekilde	Varmeoptagerforhold
Spildevand	Fem forskellige flow på spildevandet (6,5, 8, 11, 18 og 22 m <sup>3</sup> /h) Fem forskellige temperaturer på spildevandet (6,5, 8, 11, 18 og 22°C),
Udeluft #1	Syv forskellige udeluftkonditioner (+17/60, +14/65, +10/70, +7/75, +3/80, +1/85, ÷4/90 °C/%RF),
Udeluft #2	Otte forskellige udeluftkonditioner (+20/60, +14/80, +9/80, +9/90, +1,5/85, +1,5/95, ÷5/90, ÷5/95 °C/%RF) To forskellige luftflow (1.350.000, 675.000 m <sup>3</sup> /h)
Grundvand	Tilgangstemperatur af grundvandet +2°C Flow af grundvand 273 m <sup>3</sup> /h

Man kan diskutere, hvor mange forskellige driftsforhold der er behov for at få kvantificeret i et aktuelt tilfælde. Som udgangspunkt bør antallet begrænses til de vigtigste driftskonditioner med flest forventede driftstimer.

Varmeafgivelsen til fjernvarmesystemet skal også kvantificeres med hensyn til temperaturforhold og energimængder for design af varmepumpeanlægget. Dette kan f.eks. gøres som vist i efterfølgende skema med eksempler på forskellige fjernvarmesystemer:

Fjernvarmesystem	Varmeafgiverforhold
Fjernvarmeværk #1	15 driftsforhold ved tre forskellige temperatursæt for fremløbs- og returtemperaturer for fjernvarme (65/40, 60/38, 72/40 °C)
Fjernvarmeværk #2	Otte driftsforhold ved tre forskellige temperatursæt for fremløbs- og returtemperaturer for fjernvarme (70/48, 63/48, 55/48 °C) Maksimalt trykfald på varmesiden (150 kPa)
Fjernvarmeværk #3	Seks forskellige temperatursæt for fremløbs- og returtemperaturer for fjernvarme (65/40, 68/38, 70/36, 70/35, 72/34 °C)
Fjernvarmeværk #4	Et temperatursæt for fremløbs- og returtemperaturer for fjernvarme (60/46 °C) Estimeret varmekapacitet på 1-2 MW

Man kan diskutere, hvor mange forskellige driftsforhold der er behov for at få kvantificeret i et aktuelt tilfælde. Som udgangspunkt bør antallet begrænses til de vigtigste driftskonditioner med flest forventede driftstimer.

Der findes en del forskellige varmepumpeprodukter på markedet. Nogle er fabriksbyggede enheder, der kan sammensættes som "byggekloster" med flere enheder til et større anlæg. Andre anlæg er skræddersyede og designet til hver enkelt aktuel opgave. Der er fordele og ulemper ved begge typer, men fælles for dem alle er, at de indeholder og benytter kølemidler af forskellige typer. Disse kølemidler har forskellige karakteristika i forhold til effektivitet, brændbarhed og giftighed, hvilket også er vigtigt at forholde sig til helt overordnet. I skemaet nedenfor er de forskellige kølemiddeltyper kort omtalt.



Kølemiddel	Egenskaber
Naturlige kølemidler	Stoffer, der findes i naturen, og som dermed betragtes som værende klimavenlige i forhold til global miljøbelastning.
R717, ammoniak	Meget effektivt, brændbart, giftigt.
Kulbrinter, såsom R290, propan	Effektive, brændbare, ikke giftige.
R744, kuldioxid, CO <sub>2</sub>	Effektivitet afhænger af driftsforhold. Ikke brændbart, ikke-giftigt.
Syntetiske kølemidler	Stoffer, der er fremstillet af kemikalieproducenter, og som betragtes som værende problematiske i forhold til global miljøbelastning pga. relativ høj drivhuseffekt. Stofferne er under europæisk og global udfasning.
HFC-typer, såsom R407C, R410A HFO-typer, såsom R1234	Udmærkede kølemidler, nogle er ubrændbare – andre brændbare, ikke-giftige.

Fastlæggelse af varmepumpeinstallationens størrelse og ydelse (afgivet varme i MW) afhænger af mængden af energi, der er til rådighed fra varmekilden samt den ønskede varmekapacitet til fjernvarmeverkets forbrugerside. Eksisterende varmepumper til fjernvarme findes typisk i størrelser mellem 1,5 og 7 MW varmeydelse.

## Detaljerede forhold

Det kan være meget vigtigt og have stor betydning at stille mere eller mindre detaljerede krav til en varmepumpeinstallation alt efter varmekilde og dertilhørende varmeoptagersystem for at få specificeret præcis dét anlæg, som man ønsker at få installeret.

Det kan være lidt af en balancegang at finde det rette niveau for detailspecifikationen. For få specifikationer kan betyde, at man åbner op for muligheder for at sænke kvalitetsniveauet. For mange specifikationer låser måske muligheder for, at leverandøren kan benytte seneste måske dyrekøbte erfaringer. Her kan det rådgivende firma være en vigtig medspiller i forhold til at få de væsentligste og vigtigste forhold specificeret.

Der ligger også en stor udfordring i, at man som køber har eller skaffer sig nødvendig og tilstrækkelig viden til at kunne specificere diverse forhold og krav. I denne sammenhæng kan det være en god idé at besøge forskellige nyere eksisterende installationer for derigennem at få kendskab til og viden om deres erfaringer og anbefalinger til brug for diverse specifikationer. Der har også været positive tilfælde, hvor en medarbejder har brugt mange ressourcer på at sætte sig grundigt ind i sagerne med henblik på at blive kvalificeret til at køre et tæt parløb med et rådgivende firma for sammen at specificere meget præcist, hvad der ønskes af installationen.

Emner, der kan eller bør beskrives på ønsket niveau, er angivet herunder. Emner angivet **med fed type** er uddybet efterfølgende.

### Levetid

Designet for f.eks. 25 år  
Sikkerhed for reservedele og holdbarhed  
Holdbarhed ift. udeforhold (sol, vind, nedbør, m.v.)

### Drift

Antal årlige starter af hovedkomponenter  
**Antal årlige driftstimer ved fuldlast og dellast**  
**Driftsikkerhed**

### Lovgivning, regler og standarder

BR18 - Bygningsreglementet 2018 i relation til tekniske installationer inkl. støjforhold  
PED (Pressure Equipment Directive - trykudstyrsdirektivet) i relation til rør og beholdere  
Maskindirektivet i relation til sikkerhedsforhold  
Risikoanalyse (ATEX) i relation til brændbare kølemidler  
Arbejdstilsynets AT Vejledning B.4.4 i relation til indretning, sikkerhed, m.v.  
Energinet Teknisk Forskrift TF 3.4.1 i relation til el-kvalitet  
Forordning (EU) 2016/1388 (netregler om nettilslutning) i relation til el-kvalitet  
DS/EN 1434 i relation til afgivet energi  
DS/ISO 2631 i relation til vibrationer

### Støjforhold

**Angivelse af præcise støjkrav**  
Forhold vedrørende måling og eftervisning  
Hvis støj overskrider grænser (dæmpning, m.v.)

### Vibrationer

Overvågning af kompressorers vibrationsniveau kan detektere lejeproblemer, m.v.

### Elforsyning

Krav til start og drift (MVA, MW)  
Elforbrug (inkl. tab i motorer og frekvensomformere)  
El-kvalitet: THD (harmoniske forstyrrelser i elnettet forårsaget af installationen) gældende for den transformer, som varmepumpen er tilknyttet, og de frekvensomformere og EC-motorer, som regulerer hastighed på kompressor, blæsere og pumper.  
Placering  
Dimensionering

### Performance data

Min., max. og normale temperaturer, flow, relativ fugtighed i udeluft, m.v.  
**Ydelse (taget højde for recirkulation, pårimning, afrimning, m.v.)**  
Minimum kapacitet  
**COP (Coefficient Of Performance) inkl. tab i motorer og frekvensomformere**  
**Årsvirkningsgrad**  
Kapacitetsregulering

### Styrings- og overvågningssystem

**Drifts- , sikkerheds- og overvågningsudstyr for kompressorer**  
PLC, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)  
COP-optimering

### Service og vedligehold

**CIP (Cleaning-In-Place)**  
Reservedele  
**Service- og vedligeholdelseskontrakt**  
Omkostninger

### Rør

Samlinger (svejsninger, flanger, m.v.)  
Isolation  
Bæring  
Mærkning af flowretning og indhold (farver, m.v.)

### Komponenter

**Kompressorer (stempler, skruer, m.v.)**  
**Fordampere**  
Varmevekslere (oliekøling, overhedning, kondensering, underkøling)  
Pumper  
Ventilatorer

### Sikkerhed

Alarm-system (lækagedetektion, m.v.)

### Ventilation

Nødventilation

### Teknisk dokumentation

Funktionsbeskrivelse  
PI-diagram  
EI-diagram  
Manualer og tegninger for drift, service og vedligehold  
Nødvendigt og tilstrækkeligt omfang og indhold - på dansk

### Kvalitetssikring

Kvalitetskontrol (inspektion, test, m.v.)  
**FAT-test (Factory Acceptance Test)**  
**SAT-test (Site Acceptance Test)**

### Måleudstyr

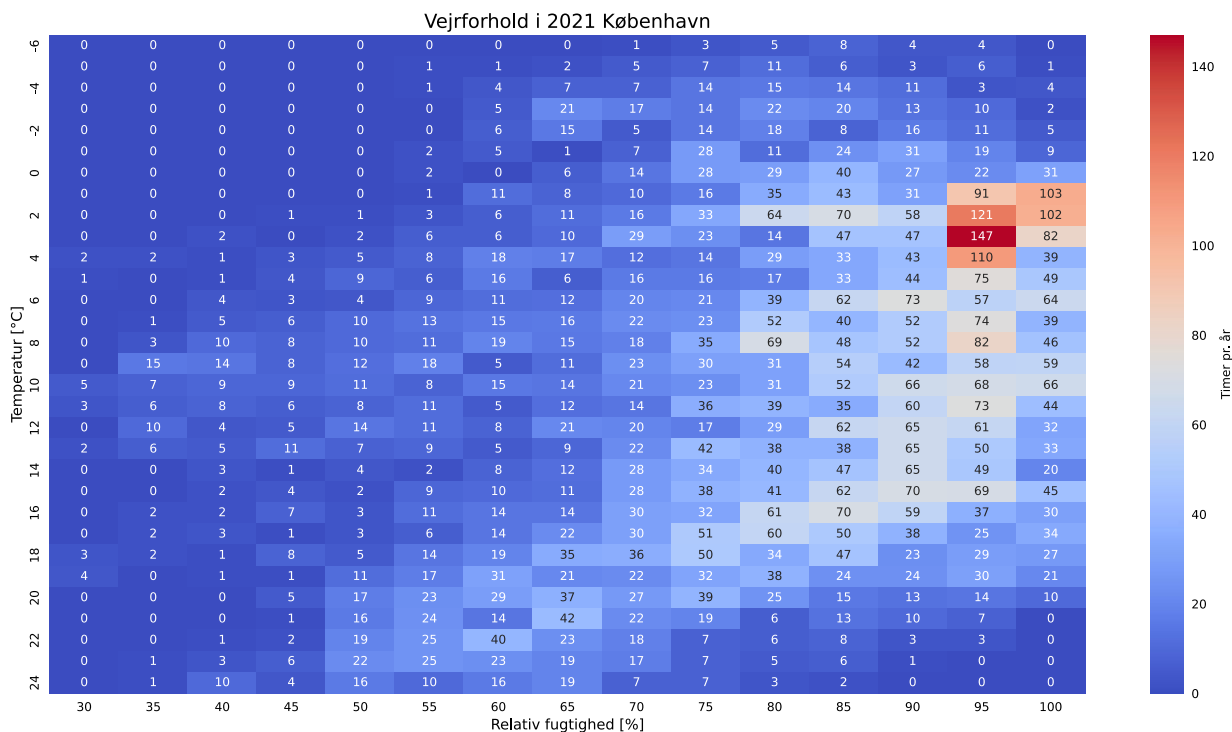
**Elektrisk effekt og energi (kompressorer, pumper, blæsere, m.v.)**  
**Afgivet effekt og energi**  
Datalogning

Hensigten med dette arbejde er ikke at gå i detaljer med alle disse forhold, men at danne udgangspunkt for et tæt samarbejde med et rådgivende firma om alle detaljerne. Kommentarer og bemærkninger til de udvalgte emner er tilføjet herunder.

#### Ad. Antal årlige driftstimer ved fuldlast og dellast

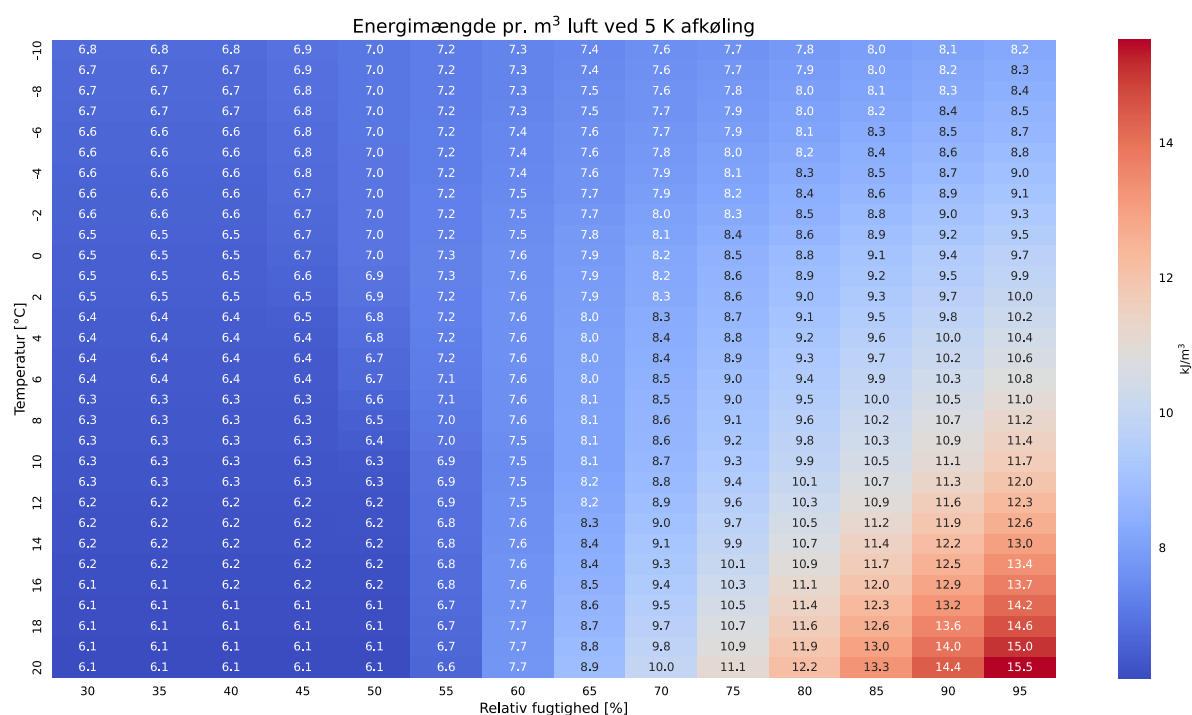
Det er vanskeligt at forudse omfanget af driftstimer ved fuldlast og dellast hen over året. Driften af varmepumpeinstallationen afhænger bl.a. af, hvilke andre muligheder der findes på værket for produktion af varme og akkumuleringskapacitet. Valget, om produktionen af varme skal ske med varmepumpe, flis, gas, elkedel, sol eller andet, bestemmes normalt på daglig basis baseret på, hvad der er billigst og dermed giver lavest mulig varmepris på værket. Oftest ønsker man, at en varmepumpeinstallation er i drift med fuld kapacitet, når det er valgt at producere varmen på dén måde, men dellast er bl.a. relevant, når der er begrænsninger i varmetilførsel fra kilden eller begrænset behov for varme til forbrugerne.

I relation til varmepumpeinstallationer, der benytter udeluft som varmekilde, er udeluften med dens indhold af fugt til stede året rundt, men varmeoptaget varierer meget gennem året alt efter udelufttemperatur, luftfugtighed, vindforhold, nedbør, m.m. på stedet. I denne sammenhæng kan det være nyttigt at have kendskab til, hvor mange timer der normalt er på årsbasis med forskellige temperaturer og luftfugtigheder, som vist i efterfølgende figur for København:



Figur 2: Timetal over temperatur og fugtighed målt i København, 2021. Data stammer fra DMI frie data.

Med luft som varmekilde er der forskel på, hvor meget energi man kan trække ud af luften ved afkøling afhængig af luftens temperatur og fugtighed. Ved afkøling af luft trækker man både energi ud ved at sænke luftens temperatur og ved at affugte luften, da der dannes kondens eller rim, når fordamperfladens temperatur er lavere end tilgangsluftens dugpunktstemperatur. Kondenseringsvarmen har stor indflydelse på, hvor meget varme der kan trækkes ud pr. m<sup>3</sup> luft. Efterfølgende figur viser en tabel over, hvor stor en mængde varme der kan hentes pr. m<sup>3</sup> luft ved at afkøle luften 5 K/°C. Det er antaget, at fordamperfladens temperatur er 10 °C lavere end tilgangsluftens temperatur. Afrimningsvarme er ikke medtaget i beregningen af energimængde.



Figur3: Energimængde, der kan trækkes ud pr. m<sup>3</sup> luft ved 5 K afkøling af luften. Fordampningstemperaturen er sat til 10 K lavere end tilgangsluftens temperatur.

### Ad. Driftssikkerhed

Det er meget afgørende og af stor betydning, at en varmepumpeinstallation kan starte og være i drift uden udfald på de tidspunkter, hvor man ønsker dette. Fjernvarmeverker, der har erfaring med drift af varmepumper, lægger stor og stigende vægt på netop dette forhold. Driftssikkerhed skal naturligvis også ses i forhold til, hvilke alternative muligheder der findes på værket for at producere og akkumulere varme.

### Ad. Angivelse af præcise støjkrav

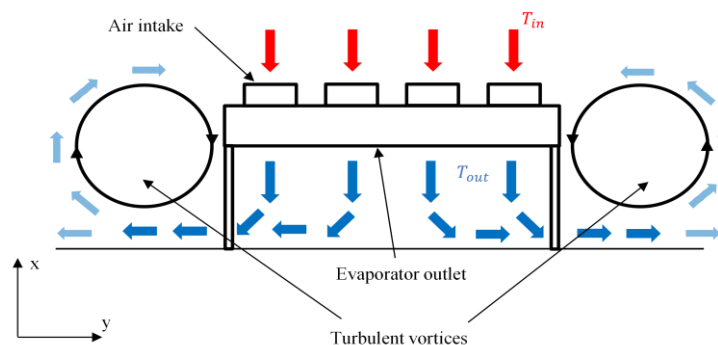
I BR18 findes der krav til maksimalt støjniveau, både udendørs og indendørs, afhængig af tidspunkter på dagen. Kravene er "værst" om natten. Der kan være seriøse støjproblematikker at forholde sig til i forbindelse med udeluftvarmepumper, hvor der indgår mange "støjende" ventilatorer på de udendørs opstillede fordampere. Jo flere ventilatorer og jo højere omdrejningstal, desto højere lydniveau. Man regner normalt med, at kravene til støjniveau er gældende i skel i forhold til matriklen, men for store udeluftvarmepumper er man nødt til at forholde sig til støjdbredelsen for hele naboområdet. Man

kan med fordel foretage en kortlægning af støjforholdene via en CFD-beregning baseret på de faktiske forhold, hvilket også kan vise, om der bliver behov for støjrreduktion i form af støjskærme o.lign.

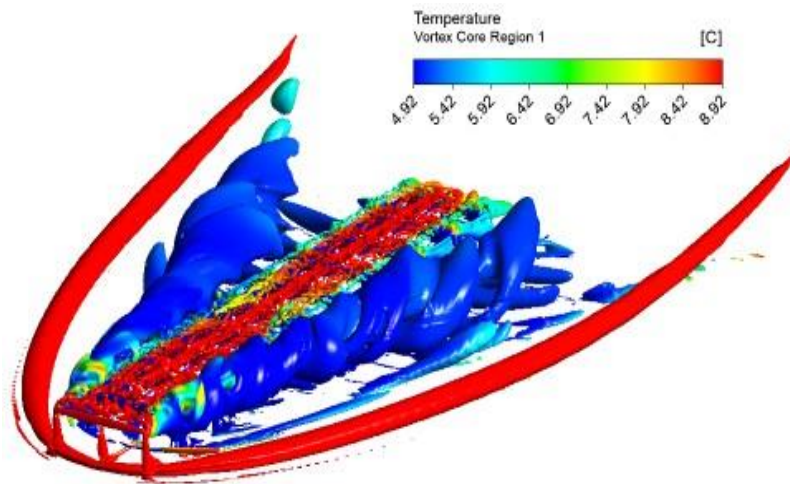
#### Ad. Ydelse (taget højde for recirkulation, pårimning, afrimning, m.v.)

For en udeluftvarmepumpe afhænger dens optagne ydelse foruden varmeoptagernes (fordampernes) konstruktion og virkemåde samt udeluftens tilstand også af recirkulation, pårimning og afrimning. Ved recirkulation (kortslutning) menes, at netop afkølet luft blander sig med udeluften, så en del af fordampere modtager luft med en lavere tilgangstemperatur end udeluftens temperatur. Derved reduceres fordampereens ydelse i større eller mindre grad afhængigt af vindens retning og hastighed. Når kølemidlets fordampningstemperatur inde i fordampereens rørbundt (coil'en) kommer lidt under  $0^{\circ}\text{C}$ , vil luftens indhold af vand sætte sig på finnerne med en overfladetemperatur under  $0^{\circ}\text{C}$  i form af rim/is. Under disse omstændigheder vil der gradvis opbygges mere og mere rim/is på finnerne, hvilket bevirker, at fordampereens optagne varmeydelse tilsvarende reduceres. For at undgå, at mellemrummet mellem finnerne blokeres fuldstændig, skal rim/is nogle gange smeltes og fjernes fra overfladerne (afrimes), så fordampere derved vender tilbage til sin maksimale kapacitet uden rim/is. Det er vigtigt at tage højde for recirkulation samt på- og afrimning, når anlægssydelsen specificeres. Varmepumpeinstallationen vil ellers ikke kunne levere den ønskede ydelse. Der kan f.eks. indarbejdes en korrektionsfaktor.

Recirkulation er illustreret i figur 4, og en CFD-beregning af recirkulationsforhold er vist i figur 5 for en varmepumpeinstallation med 20 fordampere i række ved Brædstrup Fjernvarme:



Figur 4: Skitse af turbulente lufthvirvler og opblanding omkring en luftkøler. Figur stammer fra: Rogié, B., Jensen, J. K., Hansen, S. O. K., & Markussen, W. B. (2020). Analysis of cold air recirculation in the evaporators of large-scale air-source heat pumps using CFD simulations. *Fluids*, 5(4), [186]. <https://doi.org/10.3390/fluids5040186>



Figur 5: CFD-simulering af recirkulation af luft. Figur stammer fra: Rogié, B., Jensen, J. K., Hansen, S. O. K., & Markussen, W. B. (2020). Analysis of cold air recirculation in the evaporators of large-scale air-source heat pumps using CFD simulations. *Fluids*, 5(4), [186]. <https://doi.org/10.3390/fluids5040186>

#### Ad. COP (Coefficient Of Performance) inkl. tab i motorer og frekvensomformere

En COP-værdi er et øjebliksbillede af en varmepumpeinstallations effektivitet ved et givent driftsforhold. For varmepumpeinstallationer udregnes COP-værdien som forholdet mellem afgivet energi [kW] fra varmepumpens varmeafgivere (direkte til forbrugerne eller til akkumuleringstanke) divideret med tilført energi [kW] til varmepumpens kompressorer, pumper, ventilatorer og andre elforbrugende komponenter. En høj COP-værdi er ensbetydende med en god anlægseffektivitet og dermed en lav varmepris til forbrugerne.

Krav til COP-værdier i et antal designpunkter benyttes i udbudsmateriale til at specificere, hvor effektiv man ønsker, at varmepumpeinstallationen skal være. De specificerede COP-værdier benyttes af leverandør og tilbudsgiver til projektering og dimensionering af varmepumpeinstallationen. Kravene til COP-værdier benyttes også til at kontrollere og eftervise, at en varmepumpeinstallations effektivitet lever op til de opstillede krav. I dén forbindelse kan der indgås aftaler om betaling af gevinst eller bod, hvis installationen viser sig at være bedre eller ringere i forhold til de opstillede krav. Der kan være tale om ganske store bodsbeløb, hvilket kan virke så afskrækkende for leverandører, at der er eksempler på, at virksomheder ikke ønsker at afgive tilbud på baggrund af de opstillede bodsbetingelser. Der er også eksempler på, at virksomheder er gået konkurs pga. disse forhold. Under alle omstændigheder kan kravene til COP-værdier medføre meget problematiske situationer og samarbejdsforhold mellem leverandør og kunde, hvilket ikke medvirker til at skabe et godt fremadrettet klima for drift, service og vedligehold efter afleveret installation.

#### Ad. Årsvirkningsgrad

En årsvirkningsgrad udtrykker forholdet mellem, hvor meget energi [kWh] der på årsbasis er leveret fra varmepumpens varmeafgivere i forhold til, hvor meget energi [kWh] der i samme periode er tilført til varmepumpens kompressorer, pumper, ventilatorer og andre elforbrugende komponenter. For hver opgørelsesperiode vil der være rigtig mange forhold, der har indflydelse på periodens resultat. F.eks. vil driftstidspunkt for forskellige driftssituationer, varierende vejrforhold gennem perioden, oppe-

og nedetider og lignende have direkte indflydelse på periodens årsvirkningsgrad. En beregning af forventet årsvirkningsgrad vil på udbudstidspunktet hvile på de forudsætninger, der er gjort mht. alle de forhold, der indgår i beregningerne. En realiseret årsvirkningsgrad vil på tilsvarende vis også indeholde alle de virkelige omstændigheder, som varmepumpeinstallationen gennem perioden har oplevet. Af disse årsager kan det være meget vanskeligt og måske direkte misvisende at sammenligne en beregnet årsvirkningsgrad med en realiseret årsvirkningsgrad.

#### **Ad. Drifts- og sikkerheds- og overvågningsudstyr for kompressorer**

Det er vigtigt at specificere, at kompressorer skal forsynes med tilstrækkeligt drifts-, sikkerheds- og overvågningsudstyr til at sikre mod driftsforhold, der i værste fald kan resultere i havarier. Der har været flere tilfælde af kompressorhavarier på varmepumpeinstallationer til fjernvarme med ammoniak som kølemiddel, hvor årsagerne bl.a. har været, at kompressorerne ikke har været beskyttet tilstrækkeligt mod kondensering af kølemiddel i kompressorer under stilstand samt kondensering i "sugerør" under drift ved store og hurtige udsving i kompressorernes sugetryk. Årsager kan f.eks. være hurtig ændring af fjernvarmevandets returtemperatur eller flow. Årsag kan også være hurtig ændring af varmekildens temperatur eller flow. Kompressorer kan f.eks. beskyttes mod utilsigtet væsketilførsel fra sugesiden fra utilsigtet opkog i systemet med sugeakkumulatorer og bevidst langsom kapacitetsregulering, hvorved hurtige trykvariationer undgås.

#### **Ad. CIP (Cleaning-In-Place)**

Benyttes spildevand, havvand eller væsker som varmekilde, hvor der kan komme belægninger eller biofilm på varmeoptagersystemet, bør der installeres løsninger til automatisk rensning af varmeoptagersystemets overflader for at bevare en høj effektivitet på varmeoptagersystemet og undgå blokering for tilstrømning af vand til varmeoptageren. Biofilm og belægninger virker isolerende, hvilket betyder nedsat ydelse eller effektivitet, når belægningerne er blevet tilstrækkeligt store. Dette vil også kunne ses på differenstrykket hen over varmeoptageren på vand-siden. Det kan være hensigtsmæssigt at beskrive krav for maksimalt differenstryk på vand-siden af varmeoptageren ind i udbudsmaterialet afhængig af, hvilken slags væske der er varmekilde. På den måde skal tilbudsgivere tage højde for etablering af CIP (Cleaning-In-Place) system til varmeoptageren, når der afgives tilbud.

#### **Ad. Service- og vedligeholdelseskontrakt**

I det samlede økonomiske billede hen over anlæggets forventede levetid indgår omkostningerne til service og vedligehold – ud over investeringen og driftsudgifter til elforbrug, mm. Med henblik på at få kendskab til niveauet for service- og vedligeholdelsesomkostninger kan det være meget hensigtsmæssigt at lade en service- og vedligeholdelseskontrakt indgå i udbudsmaterialet.

#### **Ad. Kompressorer (stempler, skruer, m.v.)**

De mest elforbrugende komponenter i en varmepumpeinstallation (af kompressionsanlægstypen) er kompressorerne, og det er derfor af meget stor betydning at specificere effektive kompressorer under både fuldlast og dellast, uanset om der er tale om skruekompressorer, stempelkompressorer eller andre typer. Det er også vigtigt, at der specificeres driftssikre og robuste maskiner af fabrikater, der må forventes at kunne serviceres og vedligeholdes i anlæggets forventede levetid.



## **Ad. Fordampere**

Der benyttes typisk pladevarmevekslere til varmeoptag fra væskebaserede kilder (f.eks. spildevand) og finnedede coils til luftbaserede kilder (f.eks. udeluft). Det vil være hensigtsmæssigt at opstille krav til dimensionerende temperaturdifferencer og andre forhold med henblik på derigennem især at sikre en god energieffektivitet. Helt overordnet set vil krav til dimensionering med relativt små temperaturdifferencer resultere i relativt større fordampere og en relativt øget samlet anlægsvirkningsgrad. Det bør nøje overvejes, hvordan merprisen for større komponenter i investeringen modsvares af mindre omkostninger til el gennem anlæggets forventede levetid. Denne overvejelse kan f.eks. udmøntes i, at der udarbejdes opstilling af levetidsomkostninger (Life Circle Costs), som danner basis for specifikation af design.

Man skal være opmærksom på udbredelse af den afkølede luft, som en luft-vand-varmepumpe vil generere. Der bør foretages kortlægning og beregning af temperatursænkning af den omkringliggende luft og hyppighed for at undgå gener hos naboer eller nærliggende infrastruktur (veje, mm).

## **Ad. FAT-test (Factory Acceptance Test)**

Med henblik på at sikre og vise, at indgående komponenter i en varmepumpeinstallation fungerer med ønsket effektivitet, kan det – alt efter aktuelt tilfælde – være hensigtsmæssigt at stille krav til en FAT-test.

## **Ad. SAT-test (Site Acceptance Test)**

Med henblik på at sikre og vise, at en varmepumpeinstallation fungerer med ønsket effektivitet, kan det – alt efter aktuelt tilfælde – være hensigtsmæssigt at stille krav til en SAT-test. Dette element indgår naturligt i forbindelse med afleveringsforretning og verifikation af ydelse og COP i forhold til indgåelse af aftale om gevinst eller bod.

## **Ad. Elektrisk effekt og energi (kompressorer, pumper, blæsere, m.v.)**

Der er behov for at specificere måleudstyr til måling af optaget elektrisk effekt og energi med afregningsnøjagtighed i forhold til verifikation af ydelse og COP i forhold til indgåelse af aftale om gevinst eller bod.

## **Ad. Afgivet effekt og energi**

Der er behov for at specificere måleudstyr til måling af afgivet effekt og energi med afregningsnøjagtighed i forhold til verifikation af ydelse og COP i forhold til indgåelse af aftale om gevinst eller bod.

#### 4. Krav til garantidata for varmepumpens ydelse, effektivitet, mm.

Dette afsnit i rapporten beskriver dét arbejde, der er blevet udført i projektet med hensyn til udarbejdelse af krav til garantidata for varmepumpens ydelse, effektivitet, mm.

Som nævnt i forrige afsnit er det blevet gængs praksis, at der i udbudsmateriale og kontrakter indgår aftaler om betaling af bonus eller bod, hvis installationen viser sig at være bedre eller ringere i forhold til de opstillede krav til ydelse og COP-værdier. Dette forhold kaldes også for garantidata.

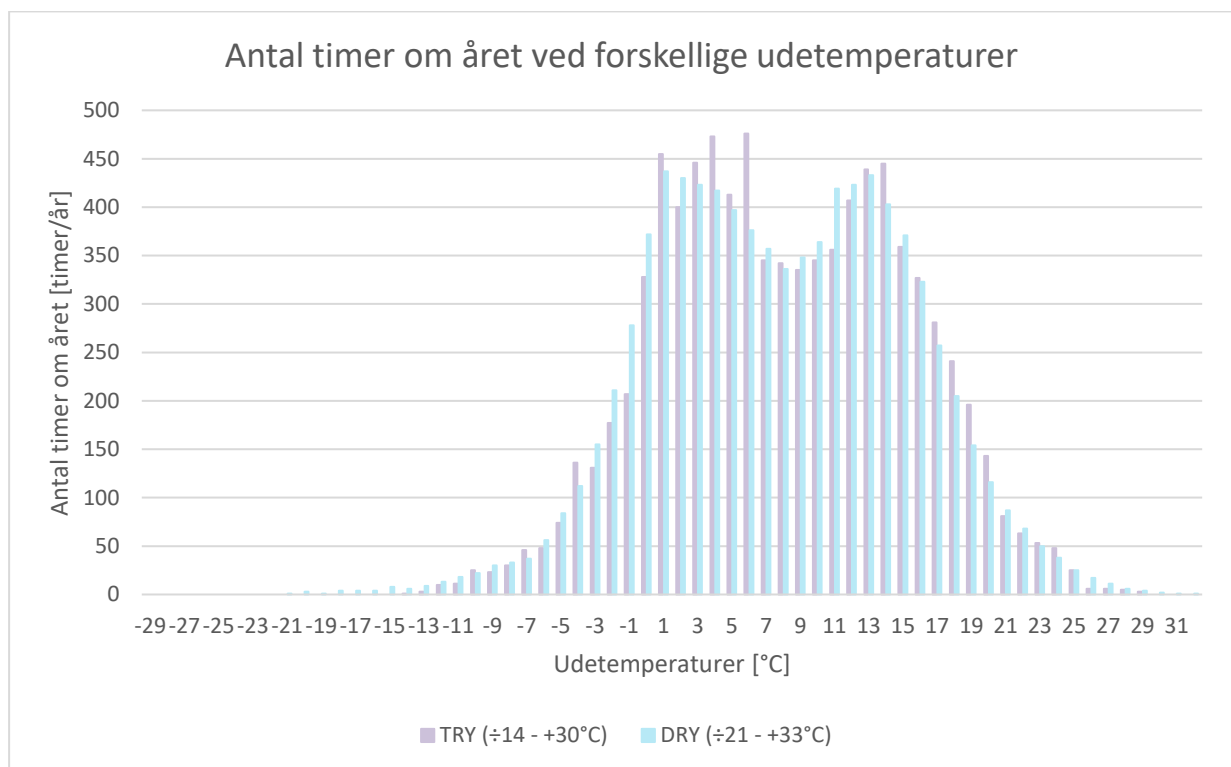
Sikkerhed for, at varmepumpeinstallationen kan køre kontinuert uden utilsigtede udfald af kortere eller længere tids varighed, kan også være af meget stor betydning, så dette forhold bør også indgå i garantiaftaler.

Opstilling af krav til garantidata vil være forskellige i forhold til typen af varmepumpeinstallation, såsom f.eks. udeluftvarmepumper, grundvandsvarmepumper, spildevandsvarmepumper eller røggasvarmepumper. I alle tilfælde skal data for afgiversiden udspecificeres i form af frem- og returtemperatur på fjernvarmesystemet (varmepumpens varme side), flow og maksimalt tilladte tryktab gennem varmeveksleren til fjernvarmeproduktion samt ønsket varmeydelse ved den specificerede fremløbstemperatur på varmekilden (varmepumpens kolde side).

For væske/vand varmepumpetyper skal garantikonditioner omfatte fremløbstemperaturprofil på varmekilden eller en fastsat fremløbstemperatur og volumenstrøm af væske på varmekilden, der er repræsentativ i forhold til den mulige væsketransport til varmepumpen.

For spildevandsvarmepumper, grundvandsvarmepumper og havvandsvarmepumper skal der ved fastlæggelsen af garantikonditioner tages højde for ændringer i strømmingen/tilgængelighed af spildevand, driftsproblemer ift. varmeoptagers følsomhed overfor pludselige ændringer, og frostfri afkøling samt miljøkrav stillet af recipienter.

For udeluftvarmepumper kan man til fastlæggelsen af garantikonditioner vælge at tage udgangspunkt i udeluftkonditioner med mange årlige timer, som vist i efterfølgende figur 6 med data fra TRY (Test Reference Year) eller DRY (Dynamic Reference Year) for Danmark. Det fremgår, at de fleste timer findes i området mellem 0 og +15°C.



Figur 6 Antal timer om året ved forskellige udetemperaturer. De viste data er fra TRY (Test Reference Year) og DRY (Dynamic Reference Year) for Danmark.

For udeluftvarmepumper vil der normalt være behov for afrimning ved drift med udelufttemperaturer under 7-8°C. Det vil derfor være hensigtsmæssigt at medtage garantikonditioner i dette område.

For udeluftvarmepumper kan man vælge at tage udgangspunkt i følgende specificerede driftskonditioner fra udbudsmaterialer vist i skemaet herunder:

Udelufttemperatur [°C]	10	9	7	3	1,5	1
Relativ fugtighed [%]	70	80-90	75	80	85-95	85

Et bud til en udeluftvarmepumpe kunne f.eks. være at vælge følgende fire designkonditioner, der ønskes anvendt til testkonditioner i forhold til garanteret ydelse og effektivitet, inklusiv testperiodernes til- og afrimning ved de ved testen forekommende vejrforhold (vindhastighed og -retning, nedbør, mm):

- +10°C/70%RF
- +7°C/75%RF
- +3°C/80%RF
- +1°C/85%RF

## 5. Krav til testmetoder og eftervisning af faktisk drift

Dette afsnit i rapporten beskriver dét arbejde, der er blevet udført i projektet med hensyn til udarbejdelse af krav til testmetoder og eftervisning af faktisk drift.

### SAT-test

Som tidligere nævnt skal der udføres en SAT-test (Site Acceptance Test) i forbindelse med en afleveringsforretning, hvorved varmepumpens funktioner afprøves, og varmeydelse og COP eftervises.

En SAT-test beskrives ofte som en gentagelse af en FAT-test (Factory Acceptance Test) med den ene forskel, at en FAT-test udføres på produktionsstedet og SAT-testen på installationsstedet.

Et komplet SAT-test forløb gennemgår følgende elementer:

- Planlægning (beskrivelse af testens aktiviteter)
- Udførelse (gennemførelse af testens aktiviteter)
- Rapport (dokumentation af resultaterne af aktiviteterne)
- Validering (gennemgang af resultaterne af aktiviteterne)
- Acceptering (godkendelse af resultaterne i forhold til kravene)

I dette dokument er det kun udvalgte dele af SAT-testens aktiviteter for en varmepumpeinstallation, der efterfølgende beskrives.

### Driftsikkerhed

Registrering af antal udfald og varighed af "udetid" i en samlet driftsperiode for varmepumpeinstallationen på f.eks. 30 dage. Sammenligning af registreret antal udfald og "udetid" med krav til maksimalt antal udfald og maksimalt omfang af "udetid" i kontrakten.

### Ydelse og COP

Registrering af afgivet varmeydelse til fjernvarmesystemet (flow, til- og afgangstemperatur) og optaget elektrisk effekt til alle elforbrugende komponenter (kompressorer, pumper, ventilatorer, styring, mm) i en eller flere udvalgte driftskonditioner af en forud bestemt varighed.

For udeluftvarmepumper kan varmeydelse, optaget elektrisk effekt samt vejrforhold (udelufttemperatur, luftfugtighed, vindretning og -hastighed, mm) f.eks. registreres under driftsforhold nær designkonditionerne i en periode af mindst tre timers varighed ved udetemperatur over ca. 7°C (drift uden tilrimning af fordamperflader) og i en periode af mindst tre timers varighed ved udetemperatur under ca. 3°C (drift med tilrimning). Målemetode og måleudstyr for alle målinger bør beskrives med angivelse af fabrikat, type og nøjagtighed. Målinger sammenlignes med krav til ydelse og COP i kontrakten.

## Støj

Støjniveauet skal registreres således, at det kan sammenholdes med lovkrav til støjniveau i skel og eventuelle øvrige opstillede støjkrav i kontrakten. Det bør beskrives, hvad der skal ske, hvis støjniveauet overskrider opstillede krav. F.eks. kan det beskrives, at leverandøren skal nedbringe lydniveauet til krævet niveau med støjafskærmning eller andet, hvis registreret niveau ligger over opstillede krav.

## Sikkerhedsforhold

Det skal kontrolleres, at varmepumpeinstallationen er forsynet med lovbehaftet sikkerhedsudstyr (højtryk, sikkerhedsventil, nødstop, mm). Det skal kontrolleres, at der på stedet findes lovbehaftet beskyttelsesudstyr (masker, handsker, øjenskylleflasker, bruser, mm), og at skiltning er i orden. Det skal også kontrolleres, at driftspersonale er informeret om og instrueret i varmepumpeinstallationen sikkerhedsmæssige forhold (alt efter anvendt kølemiddel).

## Styring, regulering og overvågning

Det skal kontrolleres, at varmepumpeinstallationen er forsynet med nødvendigt og tilstrækkeligt udstyr til styring, regulering og overvågning (alarmer), så anlægget kan betjenes og driftes af driftspersonalet på hensigtsmæssig måde. Kontrollen skal særlig omfatte forhold, der specifikt er beskrevet i kontrakten.

## Usikkerheder

I forbindelse med målinger optræder der usikkerheder, som påvirker det målte resultat. Det er vigtigt at kvantificere disse usikkerheder og evt. korrigere målingerne, så det er muligt at angive den målte ydelse med den tilhørende måleusikkerhed. Efterfølgende gennemgås, hvordan måleusikkerheder påvirker måleresultater, og hvordan der kan tages højde for disse usikkerheder, når måleresultater sammenlignes med garantidata.

## Fejkilder

Ved alle målinger kan der være systematiske eller tilfældige fejkilder. Der er muligt at angive usikkerheden på en måling ved bl.a. at kende præcisionen af det anvendte måleudstyr. Der kan optræde fejkilder i forbindelse med udførelsen af måling f.eks. i form af u hensigtsmæssigt placeret måleudstyr eller andre forstyrrelser fra installationen. Det gælder i alle tilfælde at minimere antallet af fejkilder og deres indflydelse på måleresultatet. Når man kan estimere størrelse på fejkilden, er det muligt at korrigere måleresultaterne i forhold til dette. Fejkilder kan f.eks. skyldes; aflæsningsfejl, installationsfejl, opløsning og kalibrering af måleudstyr, indflydelse fra omgivelsernes temperatur eller vind.

## Krav til målernøjagtighed

I udbudsmaterialet bør der stilles krav til målere for afgivet varme, optaget elektrisk effekt, mm, som installeres på varmepumpen. Kravene til måleren omfatter installation, læsbarhed og kalibreringscertifikat samt nøjagtighed.

For varmemåler på fjernvarmesiden og for elmåler(e) bør der medfølge et kalibreringscertifikat. Fabrikatet bør angives direkte eller angives som "anerkendt vesteuropæisk fabrikat". Energimålere bør være udført i overensstemmelse med harmoniserede internationale standarder, hvorved det sikres, at målers usikkerhedsbidrag beror på et anerkendt grundlag, når der stilles krav til dødbånd eller maksimalt tilladelig usikkerhed.

Der findes standarder og direktiver til klassificering af varme- og elmålere. Det fælleseuropæiske måleinstrumentdirektiv (MID) fastsætter krav til den maksimalt tilladelige usikkerhed (MPE) for forskellige typer af forbrugs- og produktionsmålere.

For varmemålere findes der krav i MID-direktivet<sup>1</sup> (bilag 6) og i den harmoniserede standard EN 1434. Der bør stilles krav til, at der installeres varmemålere til den producerede fjernvarme, der lever op til klasse 2 i EN 1434 eller bedre, hvis muligt.

For elmålere findes der krav i MID-direktivet (bilag 5) og i den harmoniserede standard IEC 62053-21. Der bør stilles krav til, at der skal installeres elmålere i MID-klasse C (svarende til klasse 0,5) eller MID-klasse B (svarende til klasse 1) for varmepumpen og dens tilhørende elforbrugende udstyr.

Ved at stille skrappe krav til elmålere og varmemålere kan den samlede måleusikkerhed for hhv. varmeydelse og COP begrænses, hvilket giver et mere nøjagtigt billede af installationens ydeevne.

Der bør stilles forskellige krav til dødbånd eller tilladelig afvigelse på henholdsvis varmeydelse og COP, da der indgår flere målelementer i måling af COP end ved måling af varmeydelse. Derfor bør dødbåndet eller den maksimale afvigelse være forskellig for varmeydelse og COP.

## Usikkerhedsbudget

Følgende skema viser eksempel på opstilling af usikkerhedsbudget for varmeydelse.

Usikkerhedsbudget for måling af leveret varmeydelse	
Usikkerhedskilde	Usikkerhedsværdi (MPE - Maximum Permissible Error)
Flowmåler ( $E_f$ ) - klasse 2	2,0 %
Temperaturfølerpar ( $E_t$ )	1,5 %
Beregningsenhed ( $E_c$ )	1,0 %
	Samlet usikkerhed
Relativ maksimal tilladelig fejl (MPE) - svarende til varmemålerens tilladelige usikkerhed <sup>2</sup> ( $E = E_f + E_t + E_c$ )	4,5 %

<sup>1</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014L0032-20150127&from=EN>

<sup>2</sup> Jf. MID-direktiv bilag 6

For både flowmåler, temperaturfølerpar og beregningsenheden gælder det, at den relative maksimale tilladelige fejl afhænger af målepunktet i forhold til måleområdet. Kamstrup har en fin forklaring af usikkerhedsbidragene for fjernvarmemålere<sup>3</sup>.

Varmemålerens tilladelige usikkerhed er beregnet på baggrund af MID-direktivets bilag 6.

Følgende skema viser eksempel på opstilling af usikkerhedsbudget for COP.

Usikkerhedsbudget for måling af COP	
Usikkerhedskilde	Usikkerhedsværdi
Varmemåler (MPE fra ovenfor)	4,5 %
Elmåler – klasse 0,5	0,5 %
	Samlet usikkerhed
Usikkerhed på COP-målingen	5,0 % (grundet afrunding)

Usikkerheden for COP-målingen beregnes på baggrund af produktregnereglen for usikkerheder. Bidragene fra varmemålerens usikkerhed og elmålerens usikkerhed skal benyttes til at beregne usikkerheden på COP-målingen.

Når der skal korrigeres for testforhold i forhold til garantipunkterne, f.eks. korrektion for temperatur på varmekilde og evt. fugtighed eller ændret flow, bør måleusikkerhederne for varmekildens tilstand medtages i de samlede usikkerhedsberegninger.

Man kan i udbuddet vælge at fastsætte usikkerhedsbidrag på varmeydelse og COP for garantidata for dermed at imødekomme de måleusikkerheder, der ligger bag ved tallene, som leverandøren leverer.

## Tolerancer

Tolerancer er ikke usikkerheder. De er grænseværdier for accepten af den målte værdi, dvs. de fortæller, om en måling skal konkluderes at være inden for de grænseværdier, som er fastsat inden målingen begyndte og er ofte angivet som et interval. Den kan sagtens ske, at resultatet af en måling falder inden for de angivne tolerancer, men usikkerheden på måleresultatet er så stor, at summen af måleresultat og usikkerhed ikke er inden for tolerancerne. Omvendt kan et måleresultat falde udenfor tolerancerne, hvor måleusikkerheden får summen af måleresultat og usikkerhed til at overlapse tolerancespændet.

Der er i udbudsmateriale set eksempel på angivelse af varmemængde med tolerance på  $\pm 0 / +15\%$ .

Andet eksempel på angivelse af tolerance: "Den målte ydelse af komponent X må ikke være lavere end 95 % af den beregnede ydelse ved samme konditioner".

<sup>3</sup> <https://www.kamstrup.com/en-en/blog/blog-series-part-2-a-thermal-energy-meter-you-can-trust/>

## 6. Økonomiske konsekvenser ved afvigelse fra garantidata

Dette afsnit i rapporten beskriver dét arbejde, der er blevet udført i projektet med hensyn til økonomiske konsekvenser ved afvigelse fra garantidata.

På den ene side er det kun rimeligt og fair at stille krav til eftervisning af, at en varmepumpeinstallation lever op til, hvad der er specificeret og købt. På den anden side er det problematisk at store bodsbeløb udløser dårlig samarbejdsrelation mellem leverandør og kunde samt udløser store økonomiske udfordringer i tilfælde af, at en installation ikke lever op til de specificerede krav til ydelse og effektivitet. Det vil være hensigtsmæssigt og i begge parter interesse at aftale et maksimalt bodsbeløb.

Størrelsen af bonus eller bod skal stå mål med forringelsen af effektiviteten og med de omkostninger, fjernvarmeselskaberne vil have som følge deraf. Størrelsen kan f.eks. tage udgangspunkt i omkostninger til udbedring af manglende ydelse eller COP eller tage udgangspunkt i forskelle på marginalpris for fjernvarme [MWh] produceret med varmepumpe eller andet varmeproduktionsudstyr beregnet som nutidsværdi over en periode på 20-30 år. Størrelsen kan også ansættes i forhold til manglende indtægter fra fjernvarmebrugere pga. lavere effektivitet i anlæggets forventede levetid.

Der er i udbudsmateriale set eksempel på angivelse af bod for hver 1 kW mere optaget elektrisk effekttag (kW), hvis COP ikke er overholdt, samt bod for hver 1 kJ/s mindre produceret varme, hvis ydelse ikke er overholdt.

Der er i udbudsmateriale set eksempel på angivelse af bod for manglende ydelse (5.000 kr./kW manglende ydelse) med dødbånd på -5% på garantiydelsen, hvis ydelsen målt i kW er 0-5% mindre end, hvad er garanteret.

Der er i udbudsmateriale set eksempel på angivelse af bod for manglende COP-faktor (5% af entreprisum for hver procentdel), hvis COP er mindre end den garanterede virkningsgrad. Leverandøren skal beskrive, hvorledes der omregnes mellem designpunkter og testpunktet.

En væsentlig problemstilling i forhold til eftervisning af ydelse og effektivitet på en varmepumpeinstallation er det forhold, at det normalt ikke kan lade sig gøre at tvangsdrifte en varmepumpeinstallation i præcis de designpunkter, som anlægget er blevet lagt ud for. Derfor skal målinger under driftsforhold, der afviger fra de specificerede designforhold, korrigeres, hvilket kan give anledning til megen diskussion.

Problemerne opstår som nævnt i forhold til at sammenholde garantidata fra designkonditioner med målte data fra testforhold, der aldrig præcist kan ramme designkonditionerne (optagerkonditioner, afgiverkonditioner, delastforhold, mm). Der opstår et behov for at foretage korrektion af måledata i forhold til designdata på en fair og ordentlig måde - også under hensyntagen til målemetoder, måleusikkerheder, mm.

Ved afleveringsforretningen for varmepumpeentreprisen skal varmepumpens funktioner afprøves, og varmeydelse og COP skal som nævnt desuden eftervises ved en SAT-test (Site Acceptance Test). Leverandørens garantidata for varmepumpens ydelse og COP benyttes til at afgøre, om den målte ydelse og COP i SAT-testen er acceptabel i forhold til, hvad der er aftalt i kontrakten.



Det bør i bedste fald aftales på forhånd, hvordan der kan og må korrigeres, men det kan være vanskeligt at forudsige og beskrive præcis, hvordan det skal gøres – også fordi man næppe altid kan forudse behov for korrektioner for alle tænkelige driftssituationer. Alternativt kan man vælge at lade en uvildig tredjepart foretage sammenligningen af målte data med garanterede data og benytte dette arbejde som udgangspunkt for diskussion og/eller forhandling om evt. bonus eller bod.

## 7. Referencer og henvisninger

Energistyrelsen. Drejebog til store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet, December 2017. Grøn Energi, PlanEnergi, Dansk Fjernvarmes Projektselskab. <http://planenergi.dk/wp-content/uploads/2018/01/Drejebog-for-store-varmepumper-2017.pdf>

Energistyrelsen. Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet, December 2017. Grøn Energi, PlanEnergi, Dansk Fjernvarmes Projektselskab. <http://planenergi.dk/wp-content/uploads/2018/01/Inspirationskatalog-for-store-varmepumper-2017.pdf>

Projektrapporter fra "EUDP 2019-I Optimering af store udeluftvarmepumper", December 2022. <https://www.teknologisk.dk/udeluftvarmepumper/41416>

## 8. Bilag

### Detailprojektbeskrivelse

I ansøgningskemaet til Dansk Fjernvarmes F&U-Konto er detailbeskrivelsen af projektet beskrevet således:

*Når et fjernvarmeselskab investerer i en varmepumpe, sker det typisk på baggrund af en beregning af levetidsomkostningerne sammenlignet med konkurrerende teknologier f.eks. gas eller biomassekedler. Her er en korrekt estimering af varmepumpens årvirkningsgrad helt afgørende for projektets rentabilitet, og det er derfor nødvendigt, at der allerede i udbuddet stilles de rigtige krav til varmepumpens effektivitet, og hvordan det senere eftervises i testfasen.*

*I dette projekt vil der blive udarbejdet en teknisk kravsspecifikation for store varmepumper som kan anvendes i udbudsmateriale, når et fjernvarmeværk vil installere en varmepumper i deres fjernvarmeproduktion, og som sikrer ensartethed på tværs af varmepumpeprojekter.*

*Projektet vil gøre det muligt at:*

- Gøre krav og metoder til dokumentation af garantidata ensartede på tværs af udbud hos kommende fjernvarmeselskaber.*
- Sikre, at det er muligt at dokumentere garantidata uden for varmepumpernes designtilstand.*
- Sikre, at leverandører har en fair mulighed for at kunne dokumentere virkningsgraderne af deres produkter og installationer.*

*Det er afgørende for en succesfuld varmepumpeinstallation og fremadrettet økonomisk drift, at der allerede i udbudsmaterialet stilles de rigtige krav til varmepumpens ombygning, funktion og effektivitet, samt til de garantidata, som leverandørerne skal opfylde. Hvis ikke kravene i udbudsmaterialet er præcise og baseret på de korrekte forudsætninger, vil det resultere i dårlig drift af varmepumpen og heraf uhensigtsmæssige høje varmepriser for varmekunderne. Samtidig er det også vigtigt, at der ikke stilles urimelige krav til leverandører og bydende, så disse afstår fra at byde på kommende varmepumpeopgaver.*

*Den tekniske kravsspecifikation, som udarbejdes i projektet, er tiltænkt som brug i fjernvarmeselskabernes udbud som grundlag for rådgivernes udbudsbeskrivelse af varmepumpens udformning, funktion og drift, som efterfølgende kan eftervises i testfasen. Ved at opstille nogle standardiserede og kvalitetssikrede krav til udbudsmaterialet, som de projekterende rådgivere skal anvende, sikres en ensartet teknisk beskrivelse på tværs af de danske fjernvarmeselskaber. Det ses bl.a. ofte, at der pålægges leverandøren af varmepumpen en bod, hvis ikke den faktiske effektivitet af varmepumpen lever op til det lovede i tilbuddet. Der er behov for et fælles grundlag for, hvordan denne bod specificeres så den står mål med forringelsen i effektiviteten og med de omkostninger fjernvarmeselskaberne vil have som følge heraf.*

*Projektet vil beskrive en standard for, hvordan krav til varmepumpens udformning og effektivitet skal opstilles i udbuddet og hvordan det efterfølgende eftervises for den færdige installation. Det er nødvendigt med præcist beskrevne krav til målemetoder og målesikkerheder for at kunne kvantificere de økonomiske konsekvenser ved reduceret effektivitet af varmepumpen, og deraf om varmepumpen overholder de garantidata, som leverandørerne har givet i deres tilbud. Varmepumpernes effektivitet afhænger af driftsbetingelserne og vil variere over året. Typisk er en varmepumpe dimensioneret til en fuldlastsituation, mens den ofte vil driftes i dellast med en anden effektivitet end dimensioneret. Det er derfor vigtigt, at der udarbejdes*

generelle udbudskrav til definition af driftssituationer for beregning af årseffektiviteten (års-COP), som tager højde for de forskellige driftsmønstre i dellast. Der er adskillige parametre, som har indflydelse på årseffektiviteten, f.eks. afrimningssekvenser, og det er vigtigt, at der tages højde for disse allerede i planlægnings- og udbudsfasen.

Projektets parter:

Teknologisk Institut er projektansvarlig og har stor erfaring inden for varmepumpeteknik og test af store varmepumper gennem mange F&U-projekter og samarbejde med virksomheder. Teknologisk Institut har tidligere gennemført 3. parts målinger af store varmepumper i forbindelse med test af deres ydeevne og effektivitet set i forhold til tilbudsmaterialet.

Høje Taastrup Fjernvarme kommer til at bidrage med deres erfaring omkring etablering og drift af flere store varmepumper med bl.a. grundvand og overskudsvarme fra datacenter som varmekilde.

Fjernvarme Fyn har erfaring fra flere store varmepumper med varmekilder fra bl.a. spildevand, røggas og overskudsvarme fra Facebooks datacenter i Odense.

Ringsted Forsyning har i 2020 etableret en af Danmarks største luft/vand-varmepumper på 11 MW og kan bidrage med deres erfaring omkring udbud og efterfølgende test af varmepumpens ydeevne – både i og uden for designpunkterne.

Fjernvarmeværkerne bidrager alle med erfaringer og viden omkring eftervisning af garantidata for deres varmepumper, og hvilke udfordringer der har været i forbindelse med test af varmepumpernes effektivitet ved dellast

Projektet har også i sigte at inddrage relevante aktører fra varmepumpebranchen, så resultaterne også er afstemt ift. de krav, leverandørerne skal opfylde. Hermed sikres det, at kravsspecifikationen er forankret på tværs af fjernvarmesektoren



**TEKNOLOGISK**  
**INSTITUT**