



Delrapport WP04

Test i laboratorie og on-site

EUDP 2019-I
Optimering af store udeluftvarmepumper



TEKNOLOGISK
INSTITUT



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Delrapport WP04

Test i laboratorie og on-site

EUDP 2019-I
Optimering af store udeluftvarmepumper



Filnavn: Delrapport WP04 ver 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.	WP04 Test i laboratorie og on-site	5
2.1.	Beskrivelsen af arbejds pakken i ansøgningen	5
2.2.	Det udførte arbejde	6
3.	Test on-site	7
3.1.	Varmepumpen ved Brædstrup Fjernvarme	7
3.1.1.	Varmepumpeinstallationen ved Brædstrup Fjernvarme	7
3.2.	Måleprogram for Brædstrup Fjernvarme	11
3.2.1.	Målinger på varmepumpe anlæggets fordampersystem	11
3.3.	Analyse af målinger mm fra Brædstrup Fjernvarme	14
3.3.1.	Måling af vejrforhold	19
3.3.2.	Måling på luftsiden	20
3.3.3.	Måling på kølemiddelsiden	23
3.3.4.	Måling af vægt	25
3.3.5.	Billeder og videoer fra Brædstrup Fjernvarme	25
3.3.6.	Diverse forhold fra Brædstrup Fjernvarme	32
3.4.	Ny varmgasafrimningsstyring	32
3.4.1.	Udstyr	32
3.4.2.	Styring	33
3.4.3.	Startsignaler for afrimning	34
3.4.4.	Slutsignaler for afrimning	34
3.4.5.	Andre forhold vedrørende afrimning	35
3.4.6.	Ny varmgasafrimningsstyring	36
4.	Test i lab	37
4.1.	Laboratorietest ved Teknologisk Institut	37
5.	Referencer	37

1. Indledning

Denne delrapport indeholder det arbejde, der er blevet udført i "WP04 Test i laboratorie og on-site" 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. WP04 Test i laboratorie og on-site

2.1. Beskrivelsen af arbejdspakken i ansøgningen

Den oprindelige beskrivelse af arbejdspakke 4 (WP04 - Work Package 4) i projektansøgningen lød således:

WP04: Test in laboratory and on-site

Responsible for WP04: DTU and DTI

WP participants: All partners

WP04 will interact with the results from WP03 and the output defines the setup for WP05.

Content:

- *Test in laboratory and on-site to demonstrate that the problems exist and that they can be solved (2-4 tests).*
- *Documentation (reporting) of the completed project work.*

This work package is about performing laboratory tests and experiments on existing heat pump installations to check, verify and prove that the developed optimization works in practice before rolling out the full on-site demonstration. The work package provides the opportunity to try out different solutions and measure the effect. The modelling results can be qualified through tests and thereby verify the models' ability to provide knowledge about the effect of the optimization actions. The work package will interact with WP03, where results from the ongoing optimization analysis can lead to input to the tests performed in WP04.

The tests will include:

- *Minimizing the frost/ice build-up*
- *Effective defrosting*
- *Handling of the defrosted water*
- *Minimizing the noise.*

Output:

- *Results on the effect of optimization activities.*
- *Validation of models.*
- *Revised and final design guideline for large ambient air heat pumps.*
- *Final decisions on heat pump demonstration design.*

During this work package the demonstration host will also be decided.

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

WP04: Testarbejde i laboratorie og on-site

Ansvarlige for WP04: DTI og DTU

WP-deltagere: Alle partnere

WP04 vil interagere med resultater fra WP02 og udbyttet vil definere setup'et for WP05

Indhold:

- Teste i lab og on-site og derved demonstrere at problematikkerne findes og kan løses (2-4 tests)

- Dokumentation (rapport) af udført projektarbejde

Det handler i denne arbejdsplan om at udføre diverse test og forsøg under laboratorieforhold og på eksisterende varmepumpeinstallationer med henblik på at checke, verificere og bevise at udtænkte optimeringer fra DTU's analyser og simuleringer også fungerer i praksis før det benyttes til fuld on-site demonstration. Arbejdsplanen giver mulighed for at afprøve forskellige løsninger og måle deres effekt. Resultater fra beregninger og simuleringer kan blive afprøvet gennem tests og dermed verificere modellernes evne til at skabe viden om effekten af optimeringsaktiviteter. Arbejdsplanen vil interagere med WP03, hvor resultater fra gennemførte optimeringsanalyser kan lede til gennemførelsen af tests i WP04.

Testarbejdet omfatter formentlig bl.a.:

- Minimal tilrimning/isopbygning
- Effektiv afrimning
- Håndtering af afrimningsvand
- Minimering af støj

Resultat:

- *Resulterende udbytte af optimeringsaktiviteterne*
- *Validering af modellerne*
- *Revideret og endelig design guideline for store udeluftvarmepumper*
- *Endelige beslutninger mht. designet af demonstrationsvarmepumpen*

2.2. Det udførte arbejde

Ved projektets start var Løgumkloster Fjernvarme a.m.b.a. projektdeltager, men fjernvarmeselskabet blev ret hurtigt mageskiftet med Brædstrup Fjernvarme. Denne ændring mht. projektdeltagere bevirkede at Brædstrup Fjernvarmes nye varmepumpeanlæg tidligt i projektet blev valgt til sted for on-site måle- og testarbejdet i denne arbejdsplan. Et oplæg til testarbejde under laboratorieforhold blev udarbejdet og tilbudt til Fincoil Luve Oy, men blev desværre ikke til noget.

Der blev udarbejdet et omfattende måleprogram for varmepumpeanlægget ved Brædstrup Fjernvarme. Målingerne har primært været benyttet til analyse af fordampernes drift og ydelse, samt til validering af tilsvarende simuleringer ved DTU.

Til sidst i projektperioden blev der udviklet en ny varmgasafrimningsstyring til anlægget i Brædstrup, som blev funktionstestet.

3. Test on-site

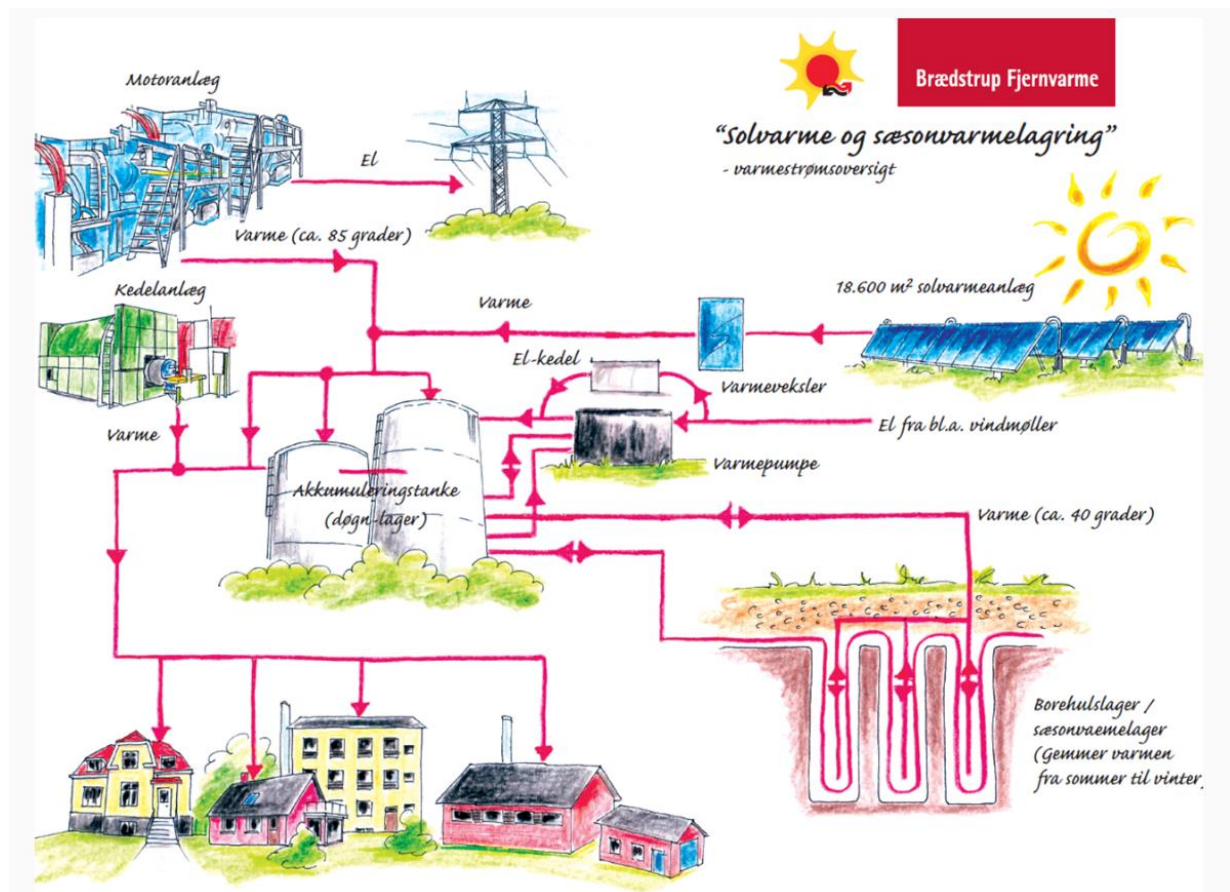
Dette afsnit i delrapporten beskriver det arbejde der er blevet udført med hensyn til at måle på den varmepumpeinstallation, der er blevet installeret ved Brædstrup Fjernvarme.

3.1. Varmepumpen ved Brædstrup Fjernvarme

Bidrag fra Teknologisk Institut:

3.1.1. Varmepumpeinstallationen ved Brædstrup Fjernvarme

Før installationen af den varmepumpe, som er benyttet til on-site-målinger havde Brædstrup Fjernvarme en anden varmepumpe, samt et motoranlæg, et kedelanlæg, et solvarmeanlæg, flere akkumuleringsstanke og et borehulslager, som vist på efterfølgende figur 1:



Figur 1: Brædstrup Fjernvarmes samlede anlæg før installation af ny udeluftvarmepumpe

Varmepumpeinstallationen til udeluft ved Brædstrup Fjernvarme Amba, der er installeret af Innoterm A/S, er et to-trins ammoniakanlæg på ca. 6,5 MW varmeydelse med en fremløbstemperatur til forbrugerne på 70°C. Anlægget er bestyktet med flg. hovedkomponenter: 2 skruekompressorer og 1 stempelkompressor, 1 mellemkøler, 1 economizer, 6 pladevarmevekslere, 2 pumpeseparatorer, samt 20 fordampere.

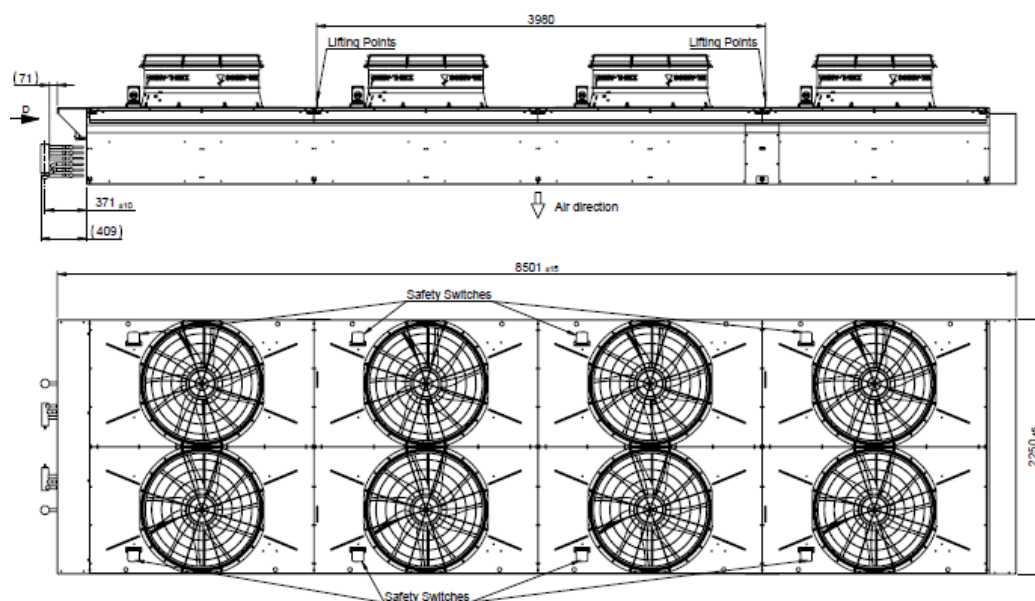


Figur 2: Et billede af maskinstuen



Figur 3: Et billede af pumpeseparatorer og udendørs opstillede fordampere

Fordamperne, vist på figur 3 er produceret og leveret af Fincoil Luvé Oy, er af "flatbed-typen" med hver 2 coils med rustfri stålør og 8 blæsere, samt aluminiumsfinner med finneafstand 5 mm. De er hver beregnet til at have en "køleydelse" på 195 kW uden tilrimning med luft tilgang $\pm 4^{\circ}\text{C}$ og relativ fugtighed 90%, luft afgang $\pm 8^{\circ}\text{C}$, fordampningstemperatur $\pm 10^{\circ}\text{C}$, samt cirkulationstal 2 på ammoniak siden.

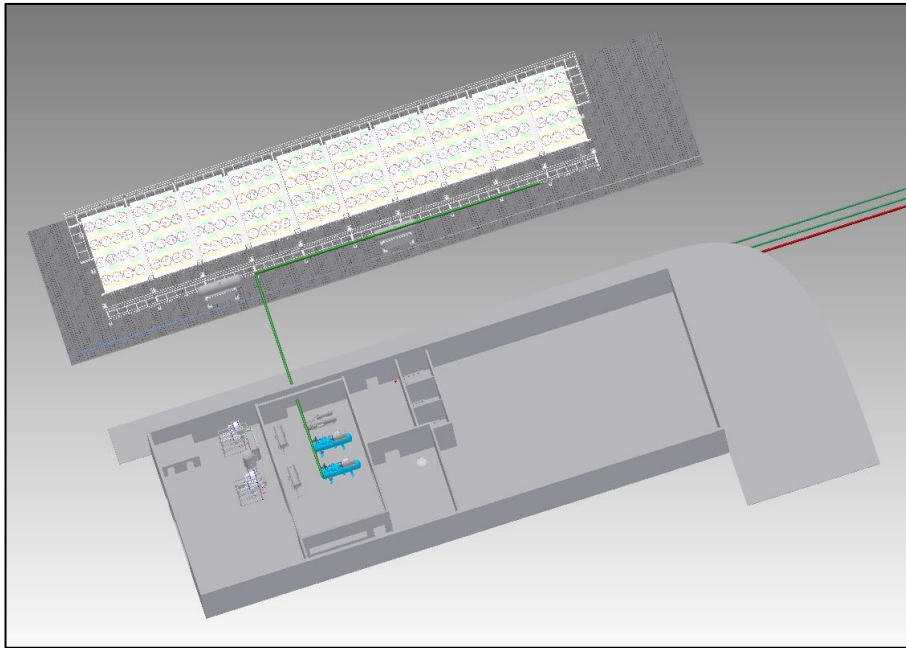


Figur 4: Tegning af fordamperen på anlægget ved Brædstrup Fjernvarme

De 20 fordamperne er monteret ved siden af maskinbygningen i en ca. 45 m lang række på et stativ ca. 3 m over niveau, som vist på figur 5 og 6.



Figur 5: Et billede af fordamperne på anlægget ved Brædstrup Fjernvarme



Figur 6: En tegning af fordampere og maskinbygning ved Brædstrup Fjernvarme

Gennem projektforløbet blev der bl.a. foretaget følgende anlægs- og driftsændringer:

0. Indsætning af muffler i sugesiderørsystem
1. Tætning af spalter mellem coils og casing på fordampere
2. Ændret kobling af headers på fordampere
3. Ændret luftretning gennem fordampere

Ad. 0. Indsætning af muffler i sugesiderørsystem

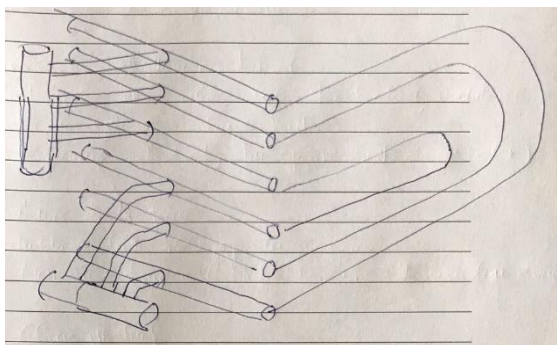
Der var et støjproblem ved starten af anlægsdriften pga. trykpulsationer fra kompressorerne og fra strukturbårne vibrationer mellem maskinstue og fordampergård. Støjproblemet blev reduceret ved at indbygge en muffler mellem maskinstue og fordampergård.

Ad. 1. Tætning af spalter mellem coils og casing på fordampere:

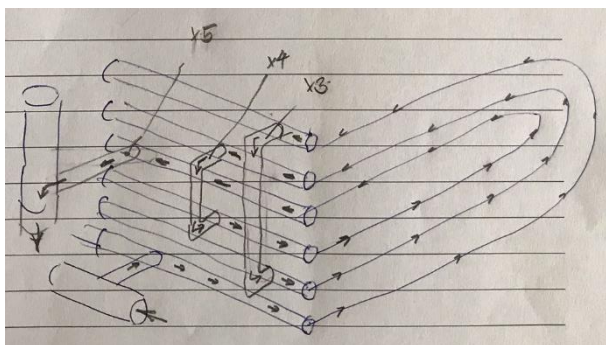
Brug af et håndholdt aerometer nedenunder fordampere viste i forbindelse med opstarten af anlæget, at der var et utilsigtet by-pass af luft gennem en spalte mellem coils og casing. Dette bevirkede at en del af luften ikke passerede gennem coil'en med deraf følgende mindre effektoptag fra luften. Problemet blev løst med tætning af spalten på samtlige fordampere.

Ad. Ændret kobling af headers på fordampere:

Erfaringer fra målinger på et andet anlæg med samme fordampemodell havde vist at der blev opnået en øget performance ved at foretage en anden kobling af headers på fordampernes coils. Hensigten med ændringen af kobling var at opnå en større hastighed gennem rørene på ammoniakside med deraf følgende bedre varmeovergang. Den foretagne ændring er vist på efterfølgende figur 7 og 8:



Figur 7: Oprindelig kobling af headers på fordamperne



Figur 8: Ændret kobling af headers på fordamperne

Ad. 3. Ændret luftretning gennem fordamperne:

Luftretningen blev ændret pga. en løbende diskussion mht. om fordamperydelsen er bedst med opadgående eller nedadgående luftretning gennem fordamperne. Anlægget var oprindeligt designet for nedadgående luftstrøm, men blev på et tidspunkt ændret til opadgående for derved at forsøge at få bedre performance. Der er fordele og ulemper ved begge dele. Ved nedadgående luftretning ledes smeltevand fra rim og is naturlig nedad, varme fra blæsere øger performance, og afkølet luft vil naturligt forblive ved jorden og hastighedsprofilet af luften der "skubbes" gennem coil'en er ikke homogent. Ved opadgående luftretning vil afkølet luft falde ned over fordampere ved vindstille, hastighedsprofilet af luften der "trækkess" gennem coil'en er homogent og der kan opstå fysisk kontakt mellem is på blæservinger og omgivende diffusor.

3.2. Måleprogram for Brædstrup Fjernvarme

Bidrag fra Teknologisk Institut:

3.2.1. Målinger på varmepumpeanlæggets fordampersystem

Der er foretaget omfattende målinger på hele installationen men især på 2 af anlæggets 20 fordampere med både midlertidigt og stationært måleudstyr. Det midlertidige måleudstyr er i projektets periode etableret af Teknologisk Institut, mens det stationære måleudstyr indgår i Brædstrup Fjernvarmes IGSS-system (Interactive Graphical SCADA System - Supervisory Control And Data Acquisition).

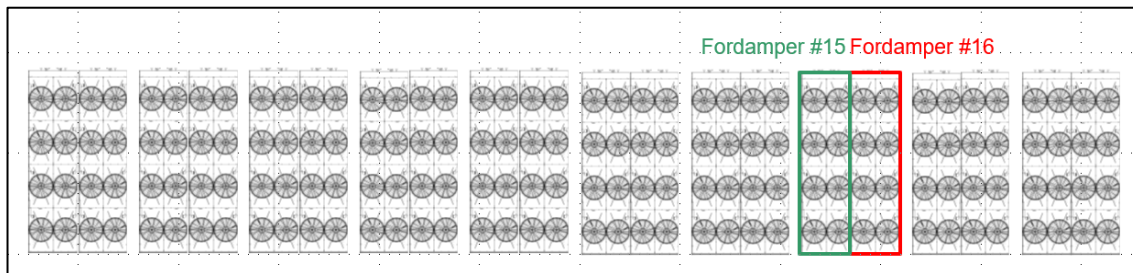
Før anlægsopstart blev ønsker og behov for målinger i forhold til "need-to-have" og ressourcer til rådighed drøftet som grundlag for beslutninger og aftale om omfanget af samtlige målinger.

Omfanget blev relativt omfattende og bestod overordnet set af flg.:

Sted	Målinger
Omgivelsesforhold	Udelufttemperatur, luftens relative fugtighed, nedbørsintensitet, nedbørstype, nedbørsmængde, lufttryk, vindretning, vindhastighed, samt solstråling
Fordampersystemet	Temperaturer af luft og ammoniak før og efter coils, optaget elektrisk effekt for blæserne, omdrejningstal og -retning for blæserne, vægt af fordampere, tilisning, tryktab på luftsiden, samt tryktab på ammoniaksiden

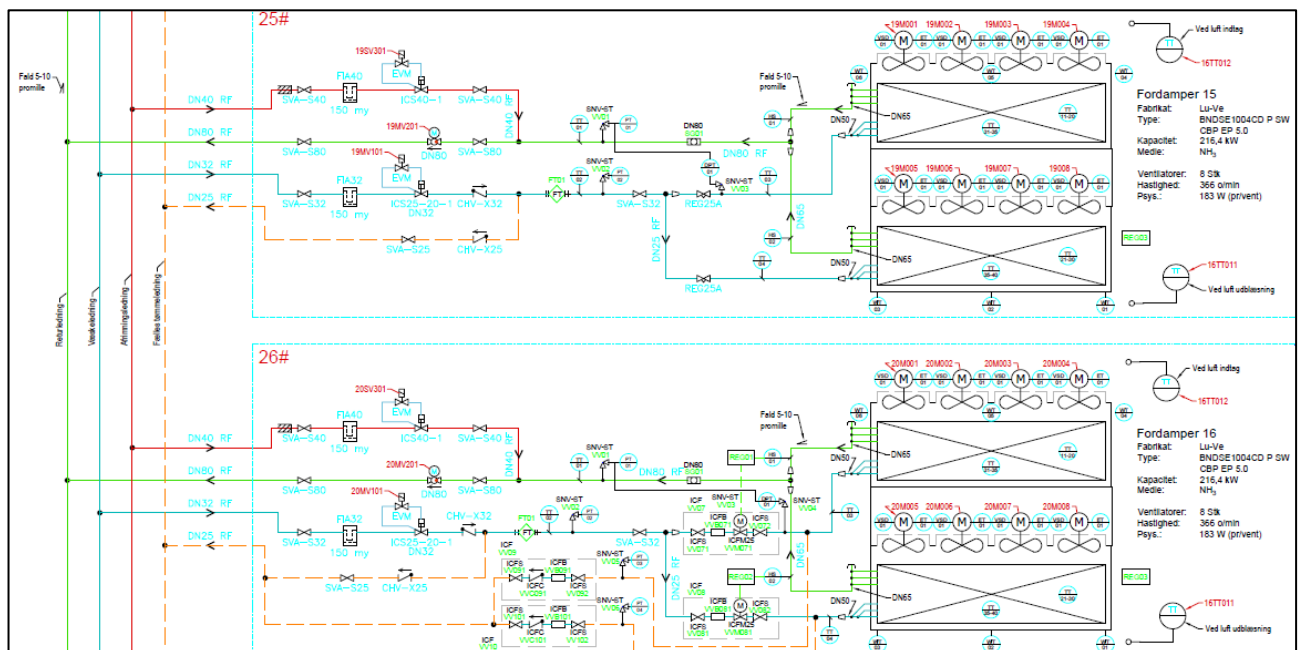
Kompressorsystemet	Tryk og temperaturer før og efter kompressorer, samt kompressorernes optagne elektriske effekt
Fjernvarmesystemet	Fjernvarmevandets til og afgangstemperatur, fjernvarmevandets temperaturer før og efter varmevekslerne, samt afgivet varmeeffekt og energi
Øvrig	Kølemidlets cirkulationsgrad, samt varmgasafrimning

De 2 udvalgte fordampere (#15 og #16), som der er målt på, er naboer og befinder sig hverken midt i eller ved enderne af rækken, som vist på figur 9.



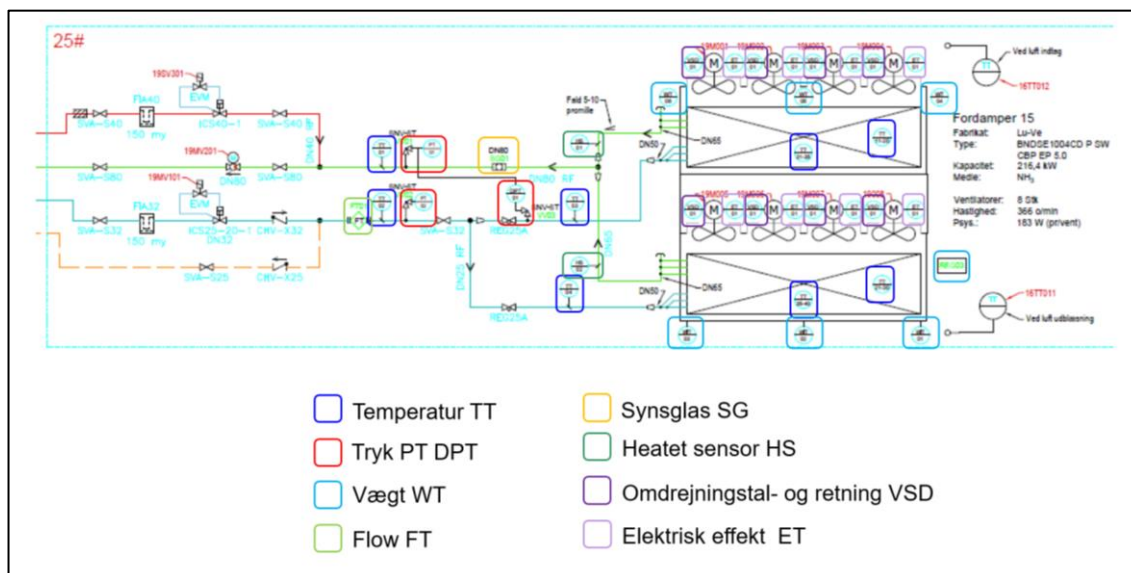
Figur 9: Rækken af 20 fordampere med placering af fordamper #15 og #16 ved anlægget i Brædstrup

Fordamper #15 udgør en form for "reference" fordi den har samme ventilbestykning og styring, som 18 andre fordampere i rækken, mens fordamper #16 er en forsøgs- og testfordamper, der enten kan driftes som de 19 andre, men som også kan driftes med anden ventilbestykning og styring. Fra start af varmepumpeanlægget til januar 2022 har væsketilførslen til fordamper #15 foregået med fast indstillet åbningsgrad på en reguleringsventil, mens væsketilførslen til fordamper #16 har været styret af en elektronisk regulator med indstilling af overhedning 1°K og tilførsel af væske via åbning og lukning af en ventil med pause-puls-metoden.

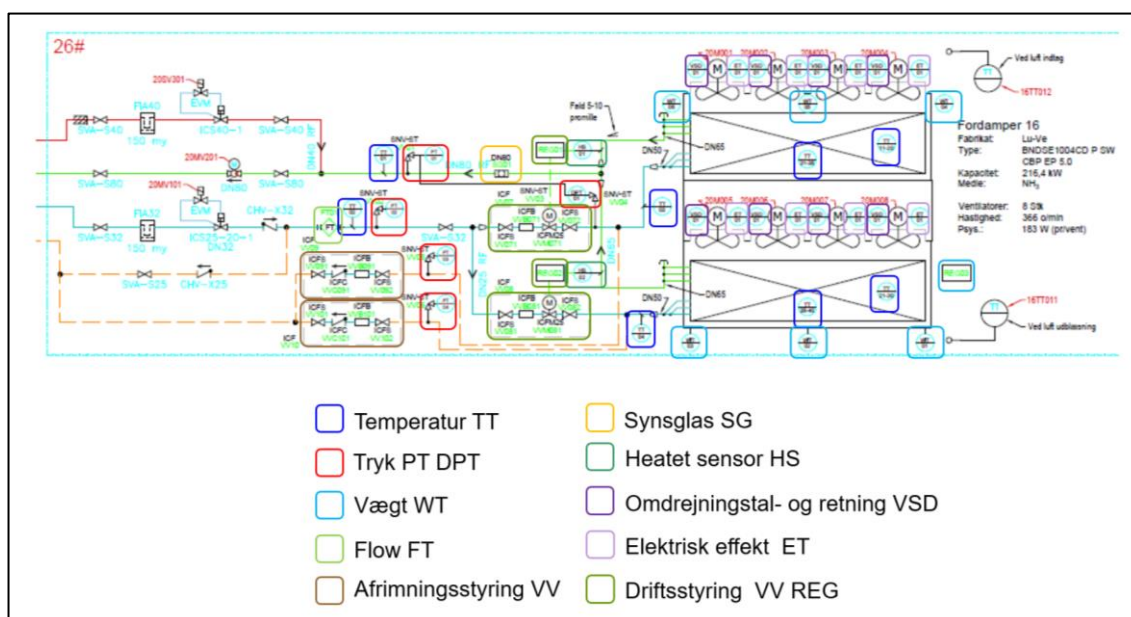


Figur 10: PI-diagram af fordamper #15 og #16 på anlægget ved Brædstrup Fjernvarme

I relation til EUDP-projektet blev rørtræk og ventilarrangementet for fordamper #15 og #16 ændret i forhold til at kunne etablere måleudstyr på disse, samt for at kunne skifte driftsform mellem oprindelig tilbudt driftsform til testform i forhold til projektet. På efterfølgende figur 11 og 12 ses PI-diagrammerne for fordamper #15 og #16 i detaljer med angivelse af måle- og driftsudstyr.

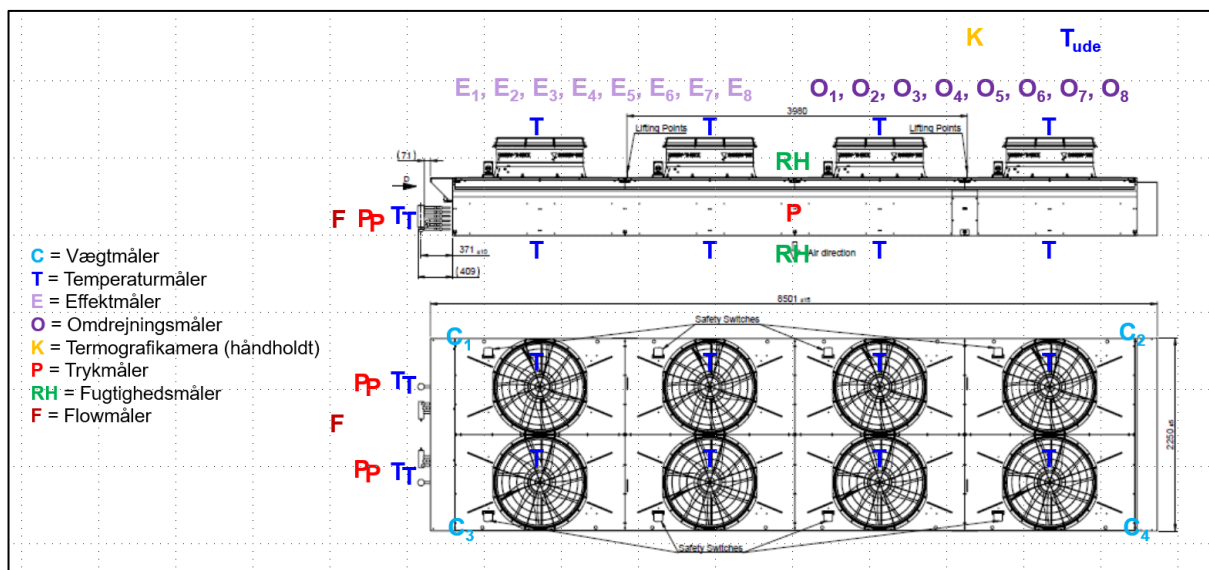


Figur 11: PI-diagram for fordamper #15 med angivelse af måle- og driftsudstyr



Figur 12: PI-diagram for fordamper #16 med angivelse af måle- og driftsudstyr

Der er foretaget målinger af flg. forhold på fordamper #15 og #16, som vist på figur 13: Temperaturer på luft- og kølemiddelsiden, tryk og trykdifferens på luft- og kølemiddelsiden, relativ fugtighed på luftsiden, vægt af fordamperen, flow på kølemiddelsiden, omdrejningstal og -retning tal samt optaget elektrisk effekt for hver enkelt blæser.



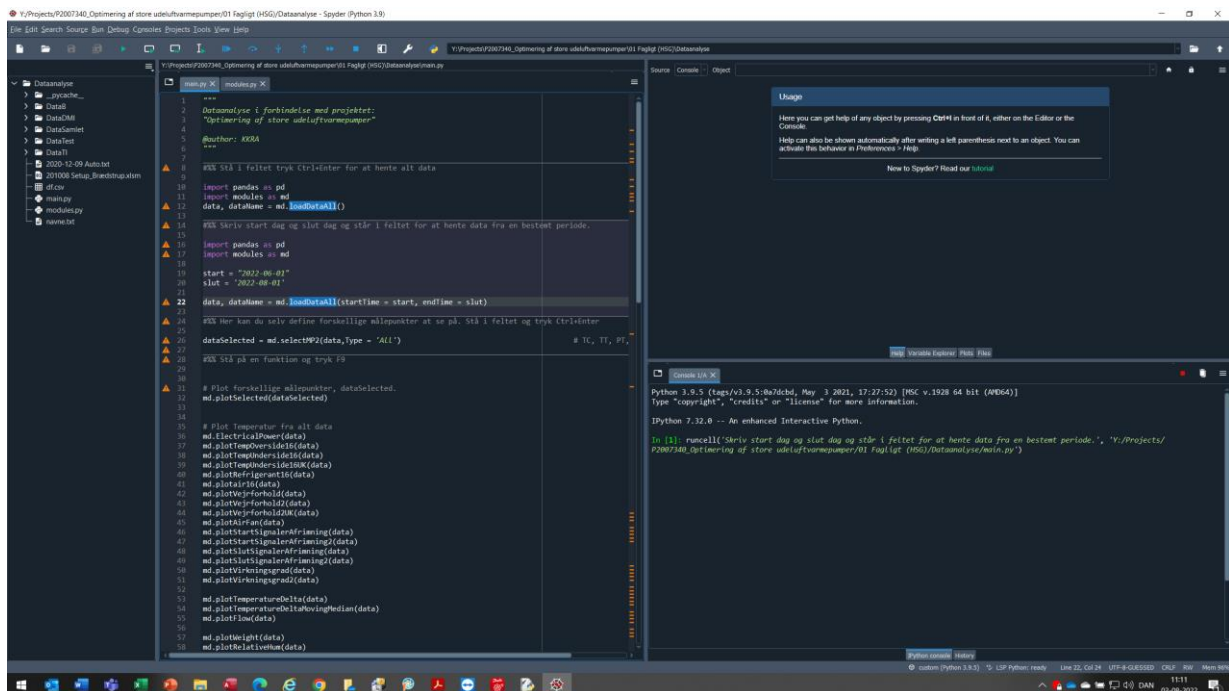
Figur 13: Angivelse af diverse målinger på fordampner #16 på anlægget ved Brædstrup Fjernvarme

Desuden er vejrdata blevet registreret af en vejrstation monteret på toppen af en akkumuleringskøle.

3.3. Analyse af målinger mm fra Brædstrup Fjernvarme

Bidrag fra Teknologisk Institut:

I praksis blev alle udvalgte målinger fra IGSS'en ved Brædstrup Fjernvarme hver dag opsamlet i en datafil, som blev videregivet til Teknologisk Institut. Teknologisk Institut aftappede desuden måledata fra dataopsamling med eget midlertidigt måleudstyr og "flettede" disse data med dataene fra IGSS'en, så de samlede data kunne blive gennemgået og analyseret. Teknologisk Institut benyttede Spyder og Python til selve databehandlingen. På efterfølgende figur 14 vises brugsfladen for analyseværktøjet:



Figur 14: Brugerfladen for analyseværktøjet (Python, Spyder)



Figur 15: Brugerfladen for Teknologisk Institut's dataopsamlingsystem

Der blev i perioden fra december 2020 til juni 2022 foretaget ca. 65 analyser af måledata fra varmpumpeanlægget i Brædstrup. Blandt observationer og konklusioner fra analyserne er flg. udvalgt og gengivet:

- Vevjecellerne virker og giver måledata om vægten af fordamper #15 og #16

- Der har været problemer med "O-stillingen" af vejecellerne
- Temperaturmålinger af tilgangsluft (be)viser recirkulation af udeluft
- Tryktab på luftsiden vokser i takt med vægtforøgelse pga. isopbygning i coils
- Fordampningstemperaturen ligger i str.-orden 10°K under udelufttemperaturen
- Det tager mange minutter (12 min målt) før afgangstemperatur af luft kommer "ned på plads" efter endt afrimning
- Trykfaldet på luftsiden vokser sig større, når afrimning har være utilstrækkelig
- Når udelufttemperatur kommer under 0°C kan isdannelse mellem fordampere og stativ ødelægge vægtmåling
- Blæsereffekten vokser gennem perioder og afvigelsen mellem de enkelte blæsere bliver større ... måske pga. forskellig blokering af den enkelte blæsers luftsektion
- Lufttemperaturerne ved tilgangen til alle fordamperne stiger nogle grader, når der er afrimning ... hvilket fortæller, at der sker varmetab til omgivelserne
- Meget store variationer i kølemiddelflow til fordamper #16 gennem hele driftsperioden ... pga. pause-puls styret ventil fra Danfoss-styring
- I alle driftsperioder er fælles afgangstemperatur et pænt stykke over andre temperaturer ... hvilket tyder på at gassen forlader coil'en som overhedet gas i stedet for at være våd retur
- Det ser ud til at fordampningstemperaturen ligger 10-11K under udelufttemperaturen (designet til 8K)
- Der konstateres stor forskel på optaget effekt af de enkelte blæsere fra periode til periode efter afrimninger
- Fordampningstemperaturen ligger ca. 11-13 K under udelufttemperaturen
- Afrimninger foretages meget systematisk ca. 8 gange i døgnet, dvs. ca. hver 3. die time
- Temperatur på finner T_{fin} ligger nogle gange langt fra og nogle gange tæt på fordampningstemperaturen T_{e,out-16}
- Der er tydelig forskel på udetemperaturmålinger med T_{amb} og Udelufttemperatur
- Der er tydelig forskel på udetemperaturmålinger med DMI_{temp_dry} og Udelufttemperatur
- Temperaturer målt udvendig på kølemiddellrørene passer meget godt med og følger fordampningstemperaturerne under drift
- Fordampningstemperaturen har hele tiden ligget under 0°C og ca. 14K under udelufttemperaturen, når varmepumpen har været i drift – på trods af positive udelufttemperaturer
- Trods relativt varm udeluft er der foretaget varmgasafrimning 6 gange i dette døgn med ca. 4 timers interval. Afrimning burde kunne gøres uden varmgas ved disse forhold.
- Vægtforøgelse og tryktab følges ikke ad.
- Temperaturdifferens mellem udeluft og fordampningstemperatur er ca. 14°K – burde have været 8°K
- Enkelte gange meget lave fordampningstemperaturer – ned ÷15°C
- Temperaturdifferens mellem udeluft og fordampningstemperatur følges ikke ad
- Mange gange meget lave fordampningstemperaturer – ned ÷18°C
- Masser af recirkulation (blå og orange til tilgangstemperaturer og udelufttemperatur er grå)
- Finnetemperatur og temperatur mellem finner ligger tæt på hinanden og ca. 6°K under udelufttemperatur
- Fordampningstemperaturen ligger ca. 10°K under udelufttemperaturen
- Tilgangstemperaturerne svinger meget og afviger meget fra udelufttemperaturen ... årsagen er klart recirkulation i forhold til forskellige vindretninger
- Afgangstemperaturerne svinger ret meget ... årsagen er klart recirkulation i forhold til forskellige vindretninger

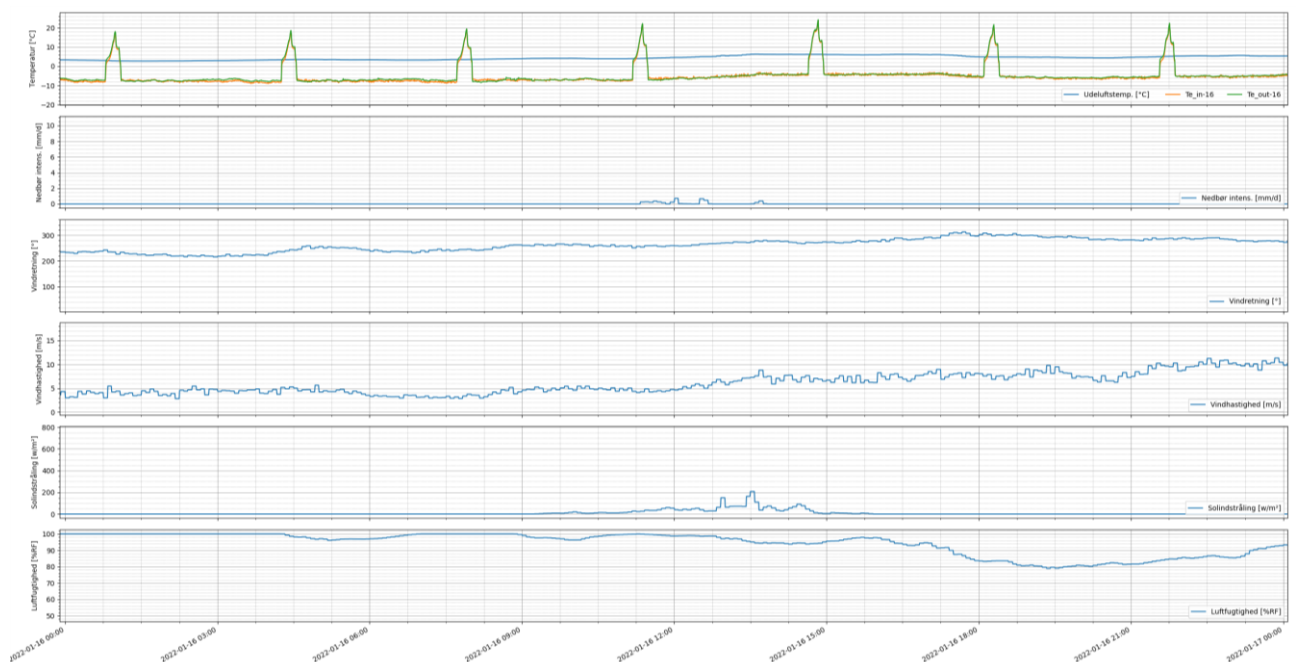
- Afgangstemperaturerne svinger ret meget og viser både overhedning og ingen overhedning ... årsagen må være forskellig grad af tilførsel af væske til fordamper
- Effekten ændres sig lidt gennem perioden – måske med tendens til at falde i periode med luftretning S-SØ pga. recirkulation
- On/off af væskeindsprøjtningen ... hvordan påvirker dette flowmønster mon olieretur?
- Meget opvarmning midt på dage i dagtimer, når anlægget ikke er i drift – formodentlig pga. solindfald
- Anlægget ydede ca. 6 MW, når det kørte
- Den grønne temperatur (TT01-16) målt lige før udløbsheaderen viser temperaturer 2-3K over fordampningstemperatur, hvilket indikerer overhedet gas i udløbet fra dette rør
- Vægten opfører sig mærkeligt
- Ikke meget recirkulation, men nogle tilgangstemperaturer alligevel 2-3K (op til 6K) under udelufttemperatur
- Markant større kontinuert flow til fordamper #15 i forhold til puls-pause-flow til fordamper #16
- Meget forskel på målingerne af udetemperatur – formodentlig pga. placering af T_amb nær fordampnerne
- T_amb ligger typisk over Udelufttemp., når varmepumpe ikke kører – tilsyneladende påvirket af solindfald
- T_amb ligger typisk under Udelufttemp., når varmepumpen kører – tilsyneladende påvirket af recirkulation
- Fordamper kører med overhedning ... ikke oversvømmet
- Vejrstationen har været ude af drift
- Det ser ud til at skiftet fra luftretning nedad til luftretning opad er sket 24/9 2021
- Temperatur af kølemiddel ud af fordamper (for 2 af tilgangs-rørene til header i coil) TC10-16 og TC11-16 ligger højere i temperatur end TC15-16 (fælles for alle rør i coil) – hvilket tyder på skævfordeling fra dele af fordamperen til fælles header
- Stadig 11-12°K mellem udelufttemperatur og fordampningstemperatur
- Midt på dagen, når varmepumpen ikke kører, stiger temperaturerne ovenpå fordamperen
- Fordampningstemperatur har været langt ned en del gange – formodentlig pga. bevidst "tomsugning"
- Sensor TC-23-18 har været i udu fra 28/9 til 9/10 – klippet ved skift af blæserretning
- Der sker noget "skørt" med varmepumpen 24/10
- De lave lufttemperaturer sidst i forløbet skyldes formodentlig stærk blæst
- Stigende tryktab sidst i driftsperioderne – formodentlig pga. isopbygning
- Meget konstante frem- og returtemperaturer
- Meget stort fald i optaget elektrisk effekt for LT-kompressor 1 fra omkring 24/10 kl. 23:30 ... havari?
- T_amb varierer meget – føleren må sidde et sted hvor afkølet luft kommer forbi
- Indløbstemperaturen er mange gange et stykke under udelufttemperaturen – formodentlig pga. recirkulation
- Lidt forskel på hvordan vægten vokser i hver driftsperiode
- dP_fan har tilsyneladende kun virket i 2 perioder og ellers været ude af drift ...
- WT-16 har været meget høj (ca 400 kg) – formodentlig pga. total isblokeret fordamper
- WT-16 falder meget i starten af afrimningsforløbet og flader derefter lidt ud for til sidst af droppe ned – måske tegn på at afrimningen kunne være afsluttet efter relativt kort tid – så resten er spild
- Trykforskellen under drift mellem trykket i fælles væsketilgangs-rør (PT02-16) og trykket efter indsprøjtningssventilerne til de 2 coils (PT03-16 og PT 04-16) er ca. 1 bar.

- Temperaturen af kondensatet fra begge coils (TT03-16 og TT04-16) stiger langsomt op til varmgastemperaturen indtil lidt før midt af afrimningsperioden, hvorefter den falder på trods af at varmgastemperaturen er på sit højeste ... måske tegn på at kondensatet ikke kommer ud af fordamperen
- Årsagen til at afrimningstrykket (T_{e_in-16} og T_{e_out-16}) har et forløb, hvor det stiger og derefter falder for at stige og falde igen er ikke klarlagt – måske har det noget at gøre med virkemåden af tømme-systemet?
- Temperaturniveauet målt på blæsergitrene hæves 1-1,5°K i afrimningsperioden over temperaturniveauet under drift
- Lufttemperaturerne målt under fordamperen ligger over udelufttemperaturen og i perioder tæt på afrimningstemperaturen (mætningstemperaturen ift. afrimningstrykket) ... hvilket tyder på at den opvarmede luft under afrimningen løber nedenud – måske pga. for stor blæserhastighed
- Lufttemperaturerne målt under fordamperen stiger i en periode efter at være overgået til drift igen – formodentlig pga. afrimning af nabo-fordamper
- Der sker noget underligt efter afrimningen ved 13-tiden. Udelufttemperaturen ændres sig ikke, men lufttemperaturerne på oversiden af fordamperen falder og det gør fordampningstemperaturen også ... sne?
- Væsentlig større cirkulationstal til fordamper #15 i forhold til fordamper #16 ... tilsyneladende forsat overhedningsstyret væsketilførsel til fordamper #16
- Meget høj vægt (op til 6-700 kg) af begge fordampere efter ca 1. december – højest på fordamper #16 ... tyder på utilstrækkelig afrimning
- Meget store tryktab i december ... indikerer at luftsiden har været blokeret af is/rim
- Trykniveauet i fordamper #15 ligger er lavere end i fordamper #16 under drift
- Niveauet er højere for fordamper #15 i forhold til fordamper #16 ... formodentlig pga. høj cirkulationsgrad med fast åbningsgrad på væsketilførselsventil, sammenlignet med fordamper #16, hvor væsketilførslen er overhedningsstyret og forgår med pause-puls-metoden styret af Danfoss EKE 400
- Temperaturniveauet for fælles afgang (blå og lilla) er ca. 1°K højere for fordamper #16 sammenlignet med fordamper #15 under drift ... måske pga. forskellige fordampertryk
- Der er skiftet til lavere omdrejningstal (blæsere) 14. december ... formodentlig for at reducere støjniveauet
- Der er et tryktab i rørsystemet mellem fordampere og kompressorer på i størrelsesorden ca. 1-2°K
- Δt mellem udeluft og fordampningstemperatur ændrer sig meget i perioden ... fra 9-12°K i starten til 7°K til sidst ... er der indlagt et min. fordampningstryk på ca. $\pm 16^\circ\text{C}$ i styringen?
- Mærkeligt forløb af vægtmålingerne ... der sker noget i afrimningsforløbet juleaften
- Finnetemperaturen "Spare - [°C]" holder sig varmest længst efter afslutning af afrimningen – formodentlig fordi det tager lidt tid før finnemetallet bliver afkølet
- Maksimalt omdrejningstal for blæser 4 blev 14/12 2021 ændret fra 55% til 51,5%
- Tydelig forskel på differenstryk for fordamper #15 og #16
- Trykniveauet i fordamper #15 ligger er lavere end i fordamper #16 under drift
- Der er forskel på fordampningstemperaturerne i fordamper #15 og #16
- Der er et "temperaturglid" fra tilgang til afgang på i størrelsesorden ca. 1-3°K gennem fordamper #15 under drift – størst i starten af en driftsperiode, men næsten intet glid under afrimning
- Der er et "temperaturglid" fra tilgang til afgang på i størrelsesorden ca. 0,-1°K gennem fordamper #16 under drift – forskellige forløb i driftsperioder, men kun ca. 0-0,5°K under afrimning
- Der er et tryktab i rørsystemet mellem fordampere og kompressorer på i størrelsesorden ca. 1-1,5°K
- Perioder med recirkulation

- Finnetemperaturen ser interessant ud ...
- Ydelsen ligger "kun" omkring 5 MW ...
- COP ligger på ca. 3
- Ny differenstryksmåler monteret 21/2 med tryktilslutningerne i enden af fordamperen
- Nogenlunde ensartet forløb de næste 3 driftsperioder – tilsyneladende med "stalling" af blæserne
- Ser ud til at være en sammenhæng mellem differenstryk på luftsiden og temperatur mellem finner og blæsereffekter ... i visse punkter ...
- Nogle temperaturstigninger kan måske skyldes at nabofordamperne afrimer ...
- Differenstryksmåler virker ikke stabil
- Der mangler IGSS-data for trykdifferens på ammoniaksiden ... pendant til DP01ammoniakside-16 – [mbar]
- Her mangler vægten for fordamper #16 fra IGSS
- Her mangler trykdifferens på luftsiden fra IGSS
- Skift af blæserretning 17/4 kl. ca. 10:00
- Stigende temperaturer ... skift til drift om natten, når udelufttemperaturen er lav
- Interessante forløb for blæsereffekter i forløbene ... kun vægtsforøgelse ved stalling af blæsere?
- Stadig recirkulation
- Skift til markant højere ydelse og bedre COP efter 6/5 ...
- Meget større vægtsforøgelse af fordamper #15 i forhold til #16

Efterfølgende er udvalgte målinger kommenteret og analyseret mht. vejrforhold, temperaturer på luft- og kølemiddelsiden, tryk og trykdifferens på luft- og kølemiddelsiden, relativ fugtighed på luftsiden, vægt af fordamperen, flow på kølemiddelsiden, omdrejningstal og -retning samt optaget elektrisk effekt for hver enkelt blæser.

3.3.1. Måling af vejrforhold



Figur 16: Målinger af vejrforhold på toppen af akkumuleringsstank ved Brædstrup Fjernvarme

Målinger:

Udelufttemp. [°C]: Udelufttemperatur målt af vejrstation på top af akkumuleringstanken
 Te_in-16: Fordampningstemperatur tilgang header fordampner (omregnet fra trykket)
 Te_out-16: Fordampningstemperatur afgang header fordampner (omregnet fra trykket)
 Nedbør intens. [mm/d]: Nedbørs intensitet målt af vejrstation på top af akkumuleringstanken
 Vindretning [°]: Vindretning målt af vejrstation på top af akkumuleringstanken (0°=360°=nord)
 Vindhastighed [m/s]: Vindhastighed målt af vejrstation på top af akkumuleringstanken
 Solindstråling [W/m²]: Solindstråling målt af vejrstation på top af akkumuleringstanken
 Luftfugtighed [%RF]: Luftfugtighed målt af vejrstation på top af akkumuleringstanken



Målinger af vejrdata viser en relativ almindelig kold og fugtig vinterdag i Danmark

Udelufttemperaturen varierede denne dag mellem ca. +3 – +6°C. Fordampningstemperaturen varierede denne dag mellem ca. ÷8 – ÷4°C. Lidt nedbør midt på dagen på op til 1 mm/dag. Vestlig vindretning drejende fra 220° (sydvest) til 310° (nordvest). Vindhastighed stigende fra ca. 3 til ca. 11 m/s. Lidt solindstråling midt på dagen op til 200 W/m². Luftfugtighed faldende fra ca. 100% til ca. 80%.

3.3.2. Måling på luftsiden



Figur 17: Målinger af tilgangstemperaturer for udeluft under fordampner #16 i Brædstrup

Målinger:

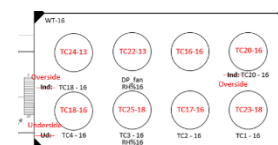
TC1-16, TC2-16, TC3-16, TC4-16: Lufttemperaturer målt på underside af fordampner #16 – før køling

T_amb: Udetemperatur målt med føler placeret tæt på fordampnerne

Udelufttemp. [°C]: Udelufttemperatur målt af vejrstationen

Te_in-16: Fordampningstemperatur tilgang header fordampner (omregnet fra trykket)

Te_out-16: Fordampningstemperatur afgang header fordampner (omregnet fra trykket)



Temperaturmålingerne viser tegn på forskellige grader af recirkulation.

Lufttemperaturerne under fordampneren (tilgang) har forskellige forløb i driftsperioderne og varierer meget i forhold til udetemperaturen med udsving på op til 3K. Fordampningstemperaturerne ligger oftest mellem ca. 10 – 12°K under udelufttemperaturen.

De efterfølgende figurer er uddraget fra DTU's arbejde med CFD i forhold til recirkulation ([1] og [2]):

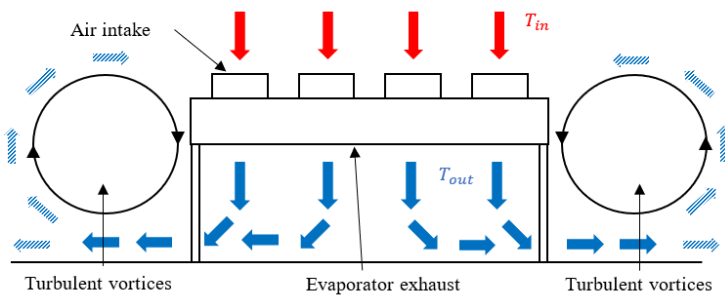
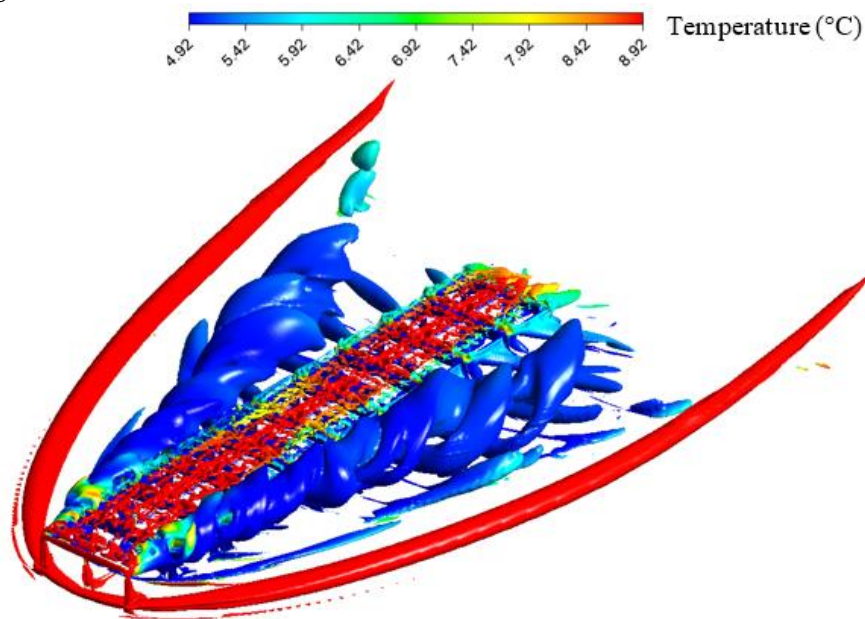
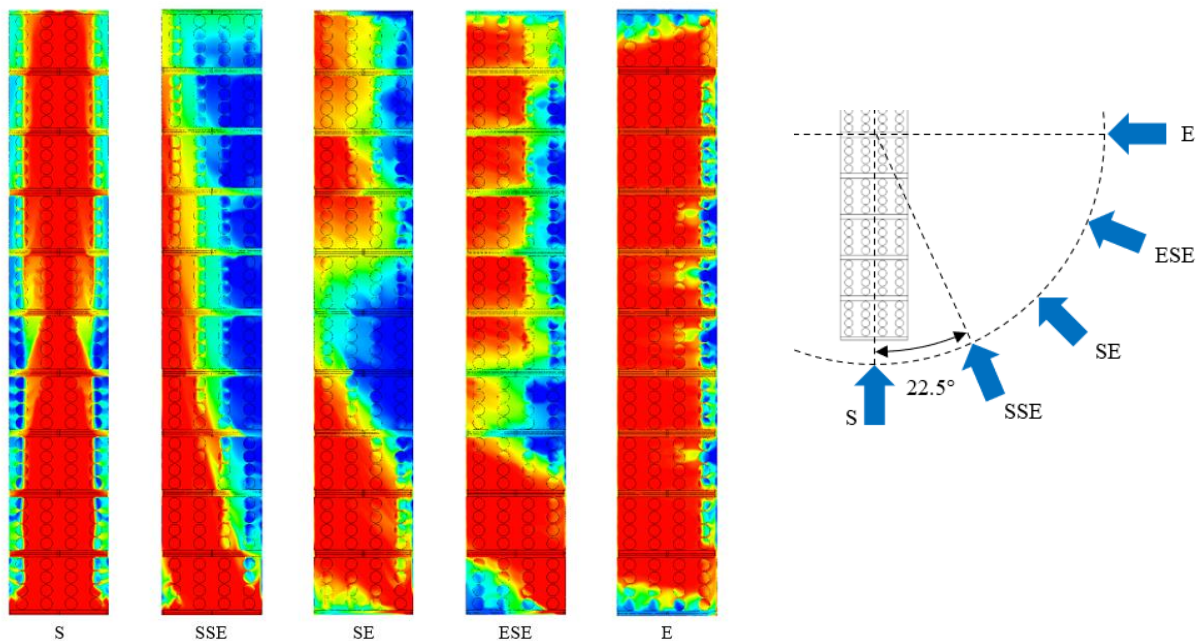


Figure 1. 2D sketch of flow recirculation around a horizontal evaporator

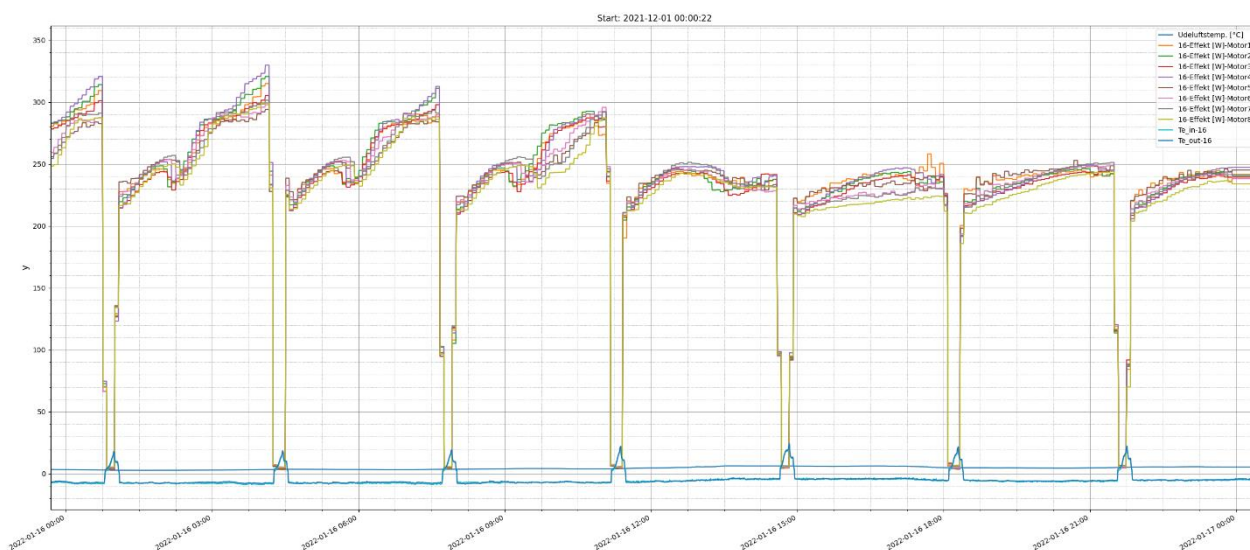
Figur 18: Dannelsen af hvirvler som skaber recirkulation



Figur 19: Udviklingen af hvirvler gennem fordamperrækken ved vindretning syd



Figur 20: Beregnede grader af recirkulation i forhold til skiftende vindretninger



Figur 21: Målinger af optaget elektrisk effekt for de 8 blæsere på fordamper #16 i Brædstrup

Målinger:

Udelufttemp. [°C]: Udelufttemperatur målt af vejrstation på top af akkumulerings tanken

16-Effekt [W]-Motor1: Optaget elektrisk effekt blæser 1 på fordamper #16

16-Effekt [W]-Motor2: Optaget elektrisk effekt blæser 2 på fordamper #16

16-Effekt [W]-Motor3: Optaget elektrisk effekt blæser 3 på fordamper #16

16-Effekt [W]-Motor4: Optaget elektrisk effekt blæser 4 på fordamper #16

16-Effekt [W]-Motor5: Optaget elektrisk effekt blæser 5 på fordamper #16

16-Effekt [W]-Motor6: Optaget elektrisk effekt blæser 6 på fordamper #16

16-Effekt [W]-Motor7: Optaget elektrisk effekt blæser 7 på fordamper #16

16-Effekt [W]-Motor8: Optaget elektrisk effekt blæser 8 på fordamper #16

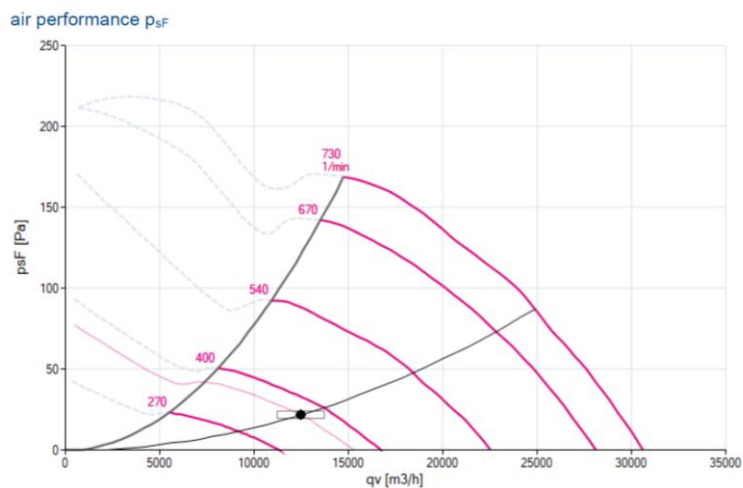
Te_in-16: Fordampningstemperatur tilgang header fordamper (omregnet fra trykket) - omsat fra PT04-16

Te_out-16: Fordampningstemperatur afgang header fordamper (omregnet fra trykket) - omsat fra PT01-16

Målingerne af blæsernes optagne elektrisk effekt viser stor variation afhængig af uens trykdifferens i dele af coil'en afhængig af graden af tilrimning pga. udeluftens temperatur og relative fugtighed, samt "stalling" af blæsere og blæservinger, der rammer is i omgivende "rør".

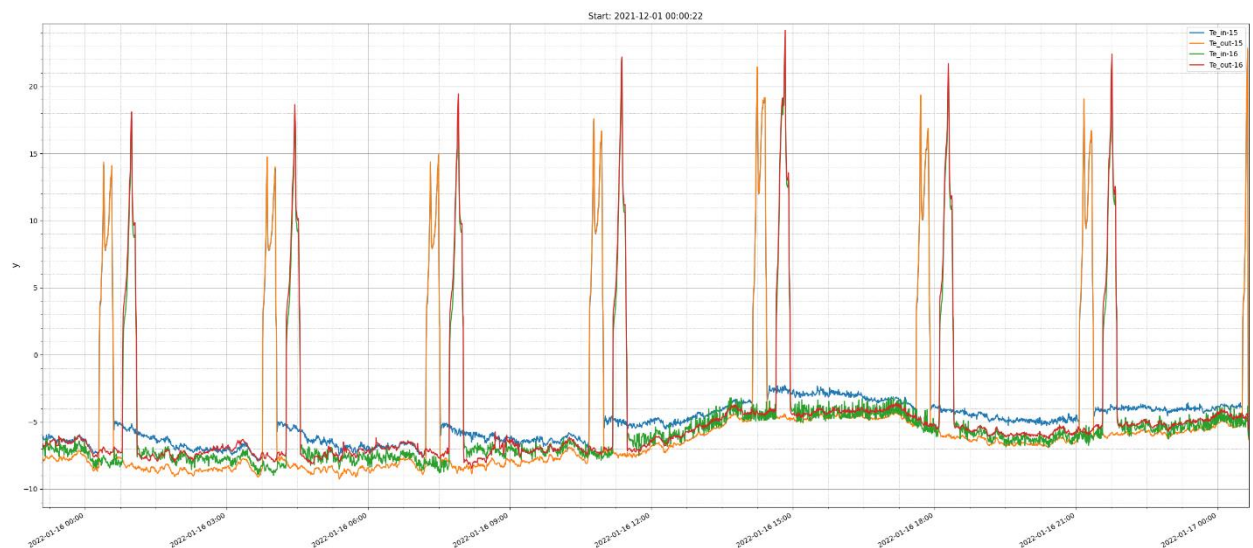
Blæsernes optagne elektriske effekt starter på næsten samme niveau og stiger i hver driftsperiode, men forløbene i hver periode er meget forskellige. Stigningen tilskrives tilrimning med resulterende øget trykdifferens i coil'en, hvor der er større tilrimning i de første 3 perioder i forhold til de 3 sidste pga. stigende temperatur og faldende relativ fugtighed i udeluften, samt ukomplet afrimning. I de første 3-4 perioder sker der undervejs et fald efterfulgt af en stigning, hvilket formodes at skyldes "stalling" af blæsere på et bestemt sted på performancekurven. I nogle af driftsperioderne ses at den optagne elektriske effekt bliver forskellig for hver blæser, hvilket tyder på uens tilrimning af hver blæsers del af coil'en eller af at blæservingernes "tip" rammer is på det omgivende "rør".

Efterfølgende er ventilatorkarakteristikken for fordamperblæsere vist:



Figur 22: Karakteristikken for fordampersblæseren

3.3.3. Måling på kølemiddelsiden



Figur 23: Målinger af fordampningstemperaturer i tilgangs- og afgangsheder på fordampers #16 i Brædstrup

Målinger:

Te_in-15: Fordampningstemperatur tilgang header fordampers (omregnet fra trykket)

Te_out-15: Fordampningstemperatur afgang header fordampers (omregnet fra trykket)

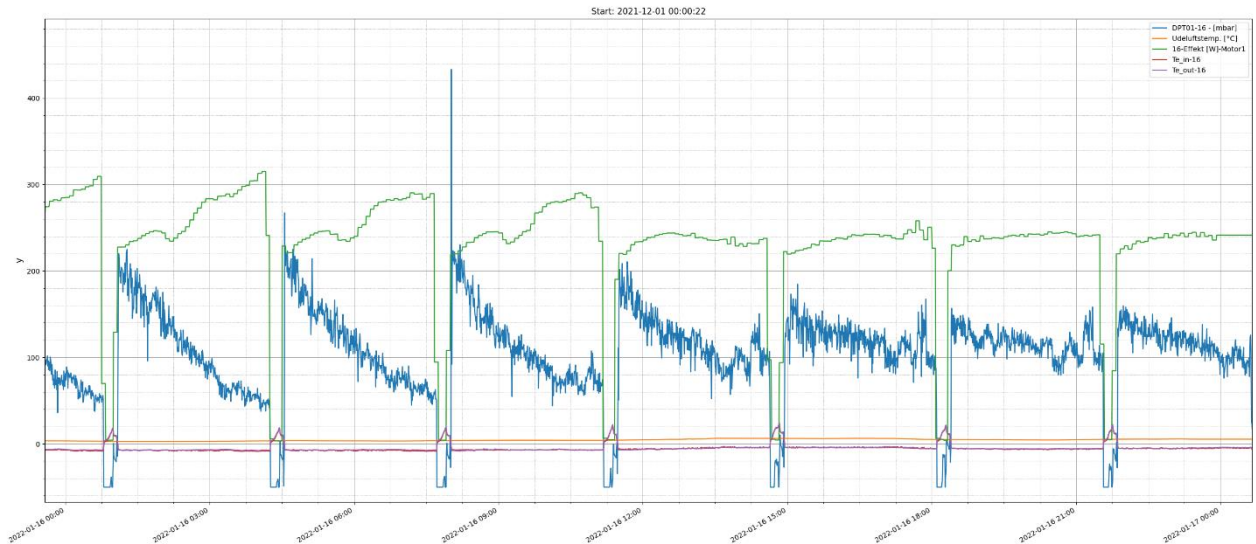
Te_in-16: Fordampningstemperatur tilgang header fordampers (omregnet fra trykket)

Te_out-16: Fordampningstemperatur afgang header fordampers (omregnet fra trykket)

Målingerne af fordampningstemperaturer i fordampers #15 og #16 har registreret forskel pga. trykfald mellem header og fælles våd retur, samt "temperaturglid" på op til 3°K gennem driftsperioder pga. tilisning – størst ved højest cirkulationstal – som reducerer performance.

Fordampningstemperaturerne i afgangshederne (orange og rød) for fordampers #15 og #16 burde være ens, da de er forbundet til samme pumpeseparator, men der registreres en forskel på 1-2°K, som må skyldes forskellige trykfald mellem headerne og fælles våd retur. Forskellen i fordampningstemperatur mellem tilgangs og afgangshederne reduceres gennem driftsperioderne fra ca. 1-3°K gennem

fordamper #15 og fra 0-1 °K gennem fordamper #16. Dette betyder, at der findes et "temperaturlid" fra tilgang til afgang af fordamperernes coils under drift, som påvirker fordampernes performance i negativ retning. Trykfaldet skyldes faldende flow af gasformig ammoniak gennem fordampernes coils pga. tilrimning – størst for cirkulationstal 2, mindst for cirkulationstal 1.



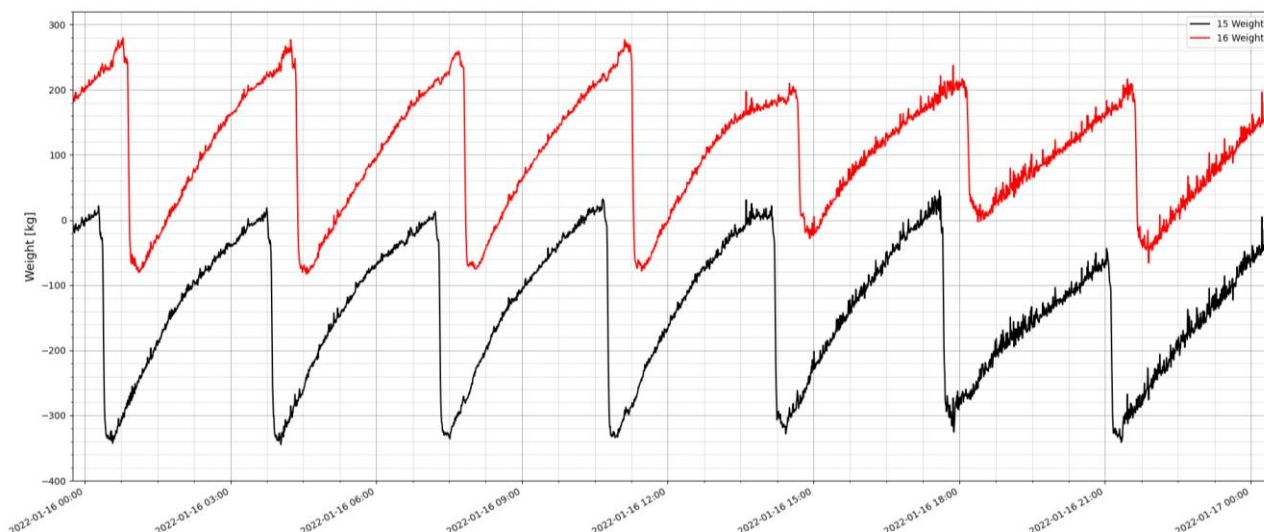
Figur 24: Målinger af differenstryk mellem til- og afgangsrør på ammoniaksiden til fordamper #16 i Brædstrup

Målinger:

DPT01-16 – [bar]: Trykdifferens ammoniak mellem fælles tilgangsrør og fælles afgangsrør for fordamper #16
 Udelufttemp. [°C]: Udelufttemperatur målt af vejrstation på top af akkumuleringstanken
 16-Effekt [W]-Motor1: Optaget elektrisk effekt blæser 1 på fordamper #16
 Te_in-16: Fordampningstemperatur tilgang header fordamper (omregnet fra tryk) - omsat fra PT04-16
 Te_out-16: Fordampningstemperatur afgang header fordamper (omregnet fra tryk) - omsat fra PT01-16

Målingerne af differenstrykket mellem ammoniakens fælles tilgangs- og afgangsrør for fordamper #16 viser fald gennem driftsperioder med tilisning, men holder sig på næsten samme niveau i driftsperioder, hvor fordamper ikke er fuldstændig afrimet.

3.3.4. Måling af vægt



Figur 25: Måling af vægte for fordamper #15 og #16 på anlægget i Brædstrup

Målinger:

15 Weight: vægt af fordamper #15

16 Weight: vægt af fordamper #16

Målingerne af vægt viser at fordampernes vægt øges med ca. 200-350 kg under drift pga. tilisning og aftager tilsvarende under afrimning, og vægtforløbene kan afsløre ufuldendt afrimning eller andre årsager til "manglende" vægttab ved afrimning.

Vægten øges under drift og reduceres under afrimning på næsten samme måde for både fordamper #15 og #16. Vægten øges med ca. 200-350 kg i driftsperioderne. Vægten af fordamper #16 når ikke altid ned på minimum niveau efter afrimning, hvilket indikerer at afrimningerne ikke er blevet fuldstændig gennemført eller at is af forskellige grunde ikke er "faldet af", hvilket er observeret i flere tilfælde.

3.3.5. Billeder og videoer fra Brædstrup Fjernvarme

Der er taget mange billeder og videoer til dokumentation af forskellige relevante forhold gennem projektforløbet. Til denne delrapport er der foretaget en gennemgang af billeder og videoer, hvorfra er uddraget og efterfølgende vist i denne del af rapporten:



Figur 26: Billede af ændret kobling af headere (2021.06.23)

Figur 27: Billede af oprindelig kobling af headere (2020.11.26)



Figur 28: Tilrimning af fordamper (2020.11.26)

Figur 29: Tilrimning af fordamper (2020.11.26)



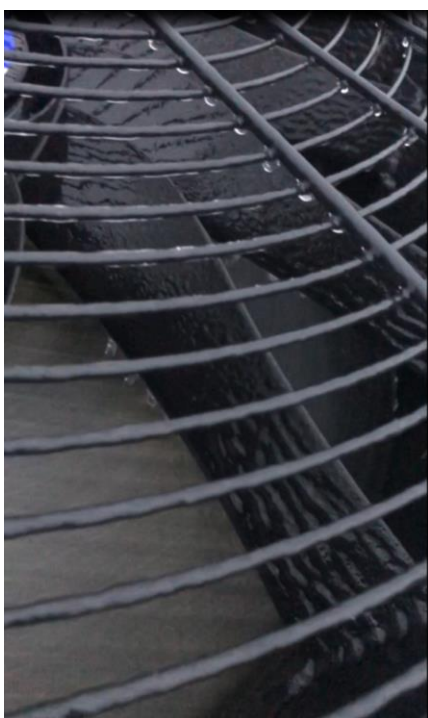
Figur 30: Tilrimning af fordamper (2021.02.10)

Figur 31: Tilrimning af fordamper (2022.04.08)





Figur 32: Is og sne ovenpå fordamperne (2022.01.03)



Figur 33: Isopbygning på blæservinger, gitter og omgivende diffusor (2022.01.19)



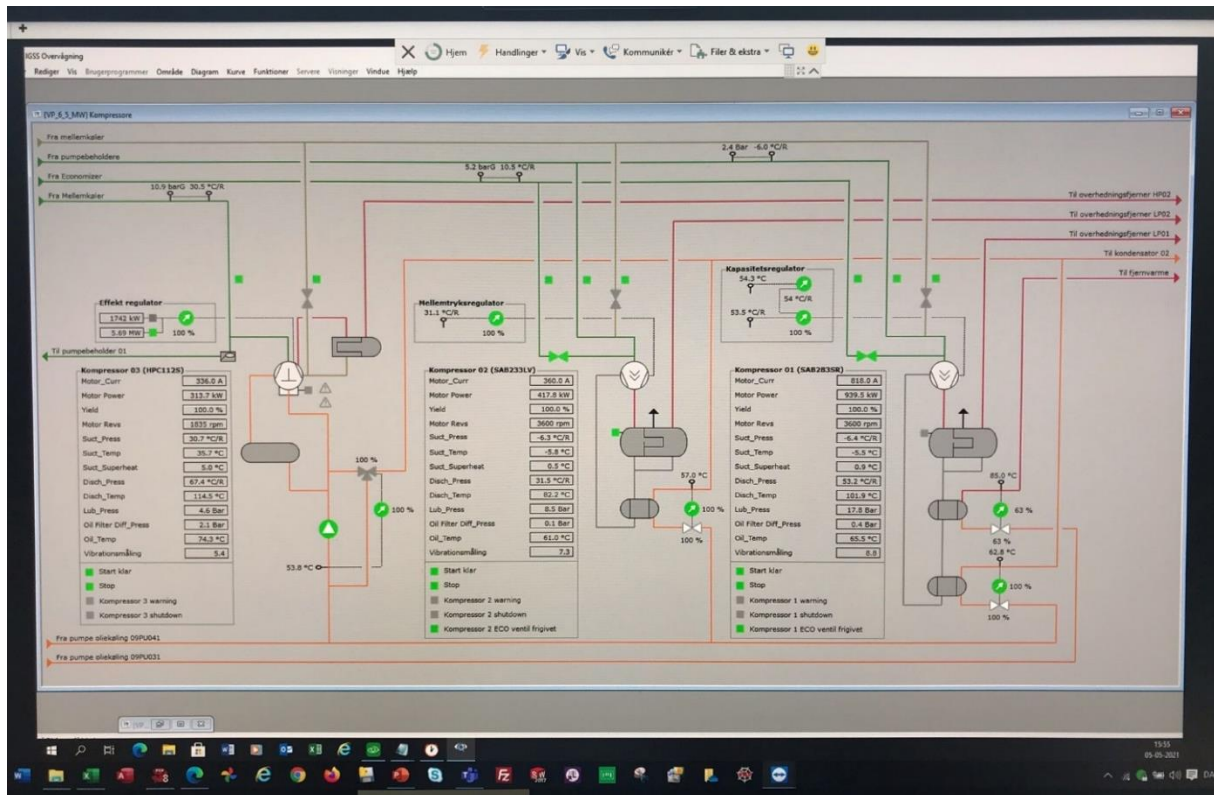
Figur 34: Isopbygning på blæservinger, gitter og omgivende diffusor (2022.02.21)



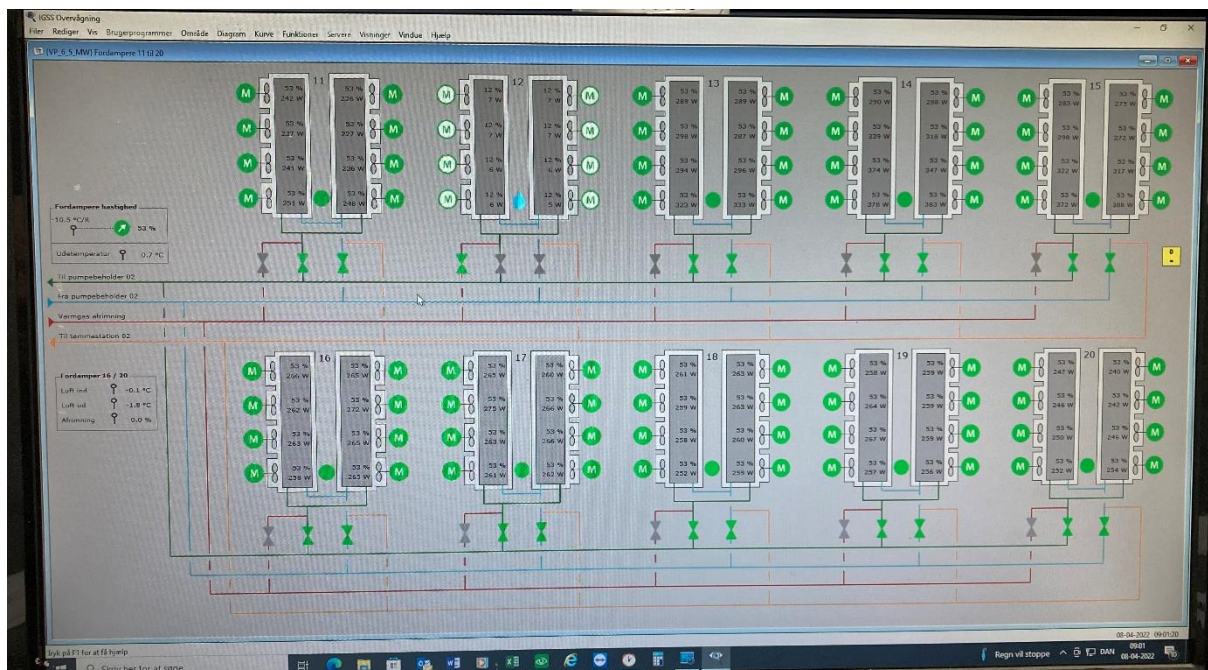
Figur 35: En del af elinstallationen (2020.11.26)



Figur 36: Maskinrummet (2020.11.26)



Figur 37: Kompressorovervågningsbillede fra IGSS'en (2021.05.05)



Figur 38: Fordamperovervågningsbillede fra IGSS'en (2022.04.08)

Der blev midlertidigt installeret en VSO'er (Et Vand, Snavs og Olieopsamlingssystem) med henblik på at undersøge omfang af vand og olie i fordampersystemet.



Figur 39: VSO'er - Vand-, Snavs- og Olieopsamlingssystem (2021.06.23)



Figur 40: Aftappet olie mm fra VSO'er (2021.06.23)

Der blev installeret et specielt oliefilterarrangement fordi der på et tidspunkt var problemer mht. tilsmudsning af oliefiltre.

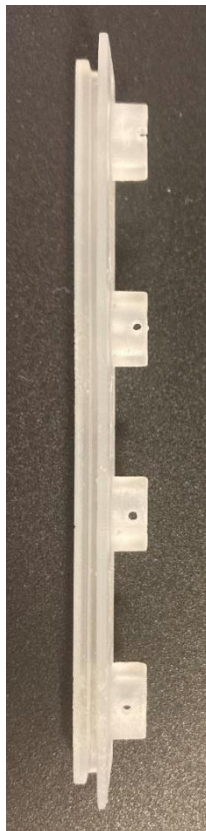


Figur 41: Specielt oliefilterarrangement (2021.10.08)

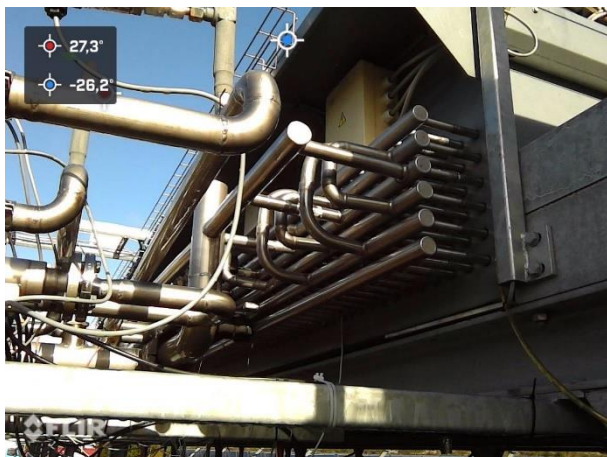


Figur 42: Specielt oliefilterarrangement (2021.10.08)

I forbindelse med at finde frem til et godt og pålideligt stopsignal for varmgasafrimning blev der fremstillet en "istykkelsesmåledims" i 3D-print for at forsøge at fikse flere thermocouple-følere på en finne og i forskellig afstand af en finne. Dimsen var bedst til at fikse en temperaturmåler på en finne. Måledimsen er vist på efterfølgende billeder:



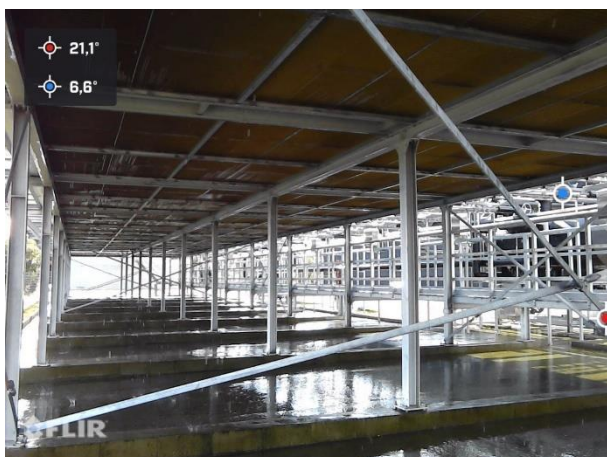
Der er foretaget termografiske fotograferinger og andre undersøgelser. De termografiske optagelser så flotte ud – som vist på efterfølgende figur 43, 44, 45 og 46, men ellers var udbyttet af termograferingen meget lille.



Figur 43: Foto af fordamperheadere



Figur 44: Termografisk billede af fordamperheadere



Figur 45: Foto af fordampers underside (2021.10.11)



Figur 46: Termografisk billede af fordampers undersiden (2021.10.11)

Der blev desuden etableret et videokamera på toppen af en akkumuleringstank, så man til enhver tid kunne "se" ud over fordampergården, som vist på figur 49 fra en dag, hvor den afkølede luft danner et koldt område med hvid sne under og omkring fordamperne:



Figur 47: Akkumuleringstank med kamera og vejrstation ovenpå



Figur 48: Kamera på toppen af akkumuleringstanken



Figur 49: Foto fra en dag med sne omkring fordamperne

3.3.6. Diverse forhold fra Brædstrup Fjernvarme

Defekt leje i motor til skruekompressor

3.4. Ny varmgasafrimningsstyring

Analyserne af måledataene viste at der var potentiale for at forbedre styringen af varmgasafrimningen, så det blev i foråret 2022 besluttet at udvikle og funktionsteste en ny varmgasafrimningsstyring til anlægget.

Anlægget var købt og blev leveret med en varmgasafrimningsstyring af traditionel "æggeur-type", hvor afrimning foretages med forud fastlagt antal gange i døgnet og varighed. Denne afrimningsform benyttes til industrielle køle- og frostrum og fungerer normalt acceptabelt til disse anvendelser, men denne simple styring er ikke optimal til udendørs opstillede fordampere, fordi vind og vejr hele tiden ændrer forholdene således at afrimningsperioden efter "æggeurs-modellen" bliver for kort eller for lang. Der er derfor behov for at benytte en mere optimal metode for afrimning for udeluftfordampere.

Baseret på den viden fra analyserne af målingerne på anlægget i Brædstrup samt andre oplysninger og erfaringer blev følgende oplæg til udstyr og styring for en ny styringsbeskrivelse udarbejdet:

3.4.1. Udstyr

En særlig udstyret "masterfordamper" (fordamper #16) med flg. udstyr:

Vejeceller for måling af vægt af fordamper (vægt af is/rim, kølemiddel, vand/is, mm)
 Visuelt udstyr til registrering af farveskift (registrering af is/rim)
 Kapacitiv sensor (registrering af is/rim)
 Temperaturfølere for lufttemperatur ved til- og afgang (temperaturer og differensstemperaturer ind/ud for hver enkelt blæser i fordamperen)
 Differenstrykmåler på luftsiden (for en udvalgt fordampersektion)
 Differenstrykmåler over coil'en (for en udvalgt fordampersektion)
 Målere for optaget elektrisk effekt (for hver enkelt blæser i fordamperen)
 Afledning af kondensat fra afrimning via tømmesystem
 Afledning af kondensat fra afrimning via svømmerventiler for hver coil

3.4.2. Styring

Målet er at alle fordampere afrimes optimalt – behovsstyret (forskelligt fra gang til gang - alt efter aktuelt behov hver gang), effektivt (hurtigt - og sådan at al is/rim er kommet væk) og med minimalt energiforbrug (mindst muligt energiforbrug for hver enkelt afrimning).

Alt efter fordampningstemperatur og udelufttemperatur er der intet eller forskellige behov for afrimning som angivet i efterfølgende skema med tilhørende uddybende tekst.

	Udelufttemperatur	
Fordampningstemperatur:	Over 0°C	Under 0°C
Over 0°C	Ikke behov for afrimning	
Under 0°C	Behov for afrimning	Begrænset behov for afrimning

Ved fordampningstemperaturer og lufttemperaturer over 0°C er der ikke behov for afrimning. Kondensering af luftens fugtindholdet på en fordamperoverflade optræder i væskeform under disse forhold. Kondensvandet vil automatisk vil forsøge at løbe nedenud pga. tyngdekraften. Luftstrømning opad mellem finner vil forsøge at trække en del af kondensvandet opad.

Ved fordampningstemperaturer og lufttemperaturer under 0°C er der begrænset behov for afrimning. En del af luftens indhold af fugt eller sne vil sætte sig på en fordamperflade som rim/is under disse forhold, men luften fugtindhold er relativt lille ved temperaturer under 0°, så tilrimning sker i mindre grad sammenlignet med situationer, hvor lufttemperaturen er over 0°C. Under disse forhold er der behov for hurtig og effektiv afrimning for at få is/rim smeltet og ledt væk – f.eks. med varmgas – for at fordamperydelsen ikke reduceres uacceptabelt meget og for at forhindre at luftgennemgangen reduceres uacceptabelt meget – evt. blokeres helt.

Ved fordampningstemperaturer under 0°C og lufttemperaturer over 0°C er der behov for afrimning. En del af luftens fugtindholdet vil sætte sig på en fordamperflade som rim/is under disse forhold. Desto højere lufttemperatur, desto bedre mulighed er der for at kunne afrime uden brug af varmgas – blot ved at blæserne cirkulerer luft gennem fordamperen coil med lukket væsketilførslen og derved stoppet fordampning. Sammenlignet med varmgasafrimning vil afrimning tage længere tid med meget lille energiforbrug.

Behandlede data fra en "masterfordamper" benyttes til afrimningsstyring af alle andre fordampere, fordi installationsomkostningerne derved minimeres samtidig med at der tages udgangspunkt i en antagelse af og forudsætning om at alle andre fordampere oplever næsten samme tilrimnings- og afrimningsforhold.

Ud fra dataene skal en forventet eller aktuel afrimningstid beregnes, således at man altid er sikker på at alle fordampere kan nå at blive afrimet inden is/rim blokerer nogen af fordamperne. Hvis beregningen

viser at man risikerer blokering fordi afrimning af alle ikke kan nås på til rådighed værende tid, skal stop af nødvendigt antal fordampere– eller samtidig afrimning af 2 eller flere fordampere ske. Afrimningen af en fordamper skal styres af sikre signaler for hvornår afrimning skal starte og slutte.

3.4.3. Startsignaler for afrimning

Et signal til start af behov for aktuel afrimning af en fordamper kan skabes fra intelligent behandling af data fra udstyr, der kan detektere opbygning af rim/is;

vægt,

visuel eller kapacitiv registrering af is/rim,

differenstryk på luftsiden,

differenstryk på kølemiddelsiden,

temperaturer og temperaturforskelle mellem lufttil- og afgang,

temperaturer på eller mellem finner, samt

optaget elektrisk effekt til blæsere.

Der var mest tiltro til at benytte data fra de understregede muligheder.

Grundtanken for den intelligente behandling af data er at nulstille parameteren på et valgt tidspunkt for derefter at følge udviklingen, konstatere hvordan forløbet udvikler sig, og "sætte et flag", når parameteren når en forud valgt værdi, der udtrykker behov for start afrimning i forhold til denne parameter. Denne intelligente databehandling tænkes foretaget på 2-5 parametre, og når alle 2-5 har "sat flag" startes afrimningsforløbet for hele rækken af fordampere. Hvis parameterudviklingen sker så hurtigt, at alle fordampere ikke kan nå at blive afrimet indenfor et afrimningsforløb skal dét antal fordampere, der risikerer at "blokke op" stoppes.

Et oplæg til behandlingen af de enkelte startsignaler blev nøje beskrevet.

3.4.4. Slutsignaler for afrimning

Et signal til stop af en aktuel afrimning af en fordamper kan skabes fra intelligent behandling af data fra udstyr, der kan detektere fjernelse af rim/is;

vægt,

visuel eller kapacitiv registrering af is/rim,

temperaturer på eller mellem finner.

Der var mest tiltro til at benytte data fra de understregede muligheder.

Grundtanken for den intelligente behandling af data er at nulstille parameteren på et valgt tidspunkt for derefter at følge udviklingen, konstatere hvordan forløbet udvikler sig, og "sætte et flag", når parameteren når en parameter (vægt) når et minimum eller når en bestemt parameter (finnetemperatur) når en forud valgt værdi, der udtrykker behov for stop afrimning i forhold til disse parametre.

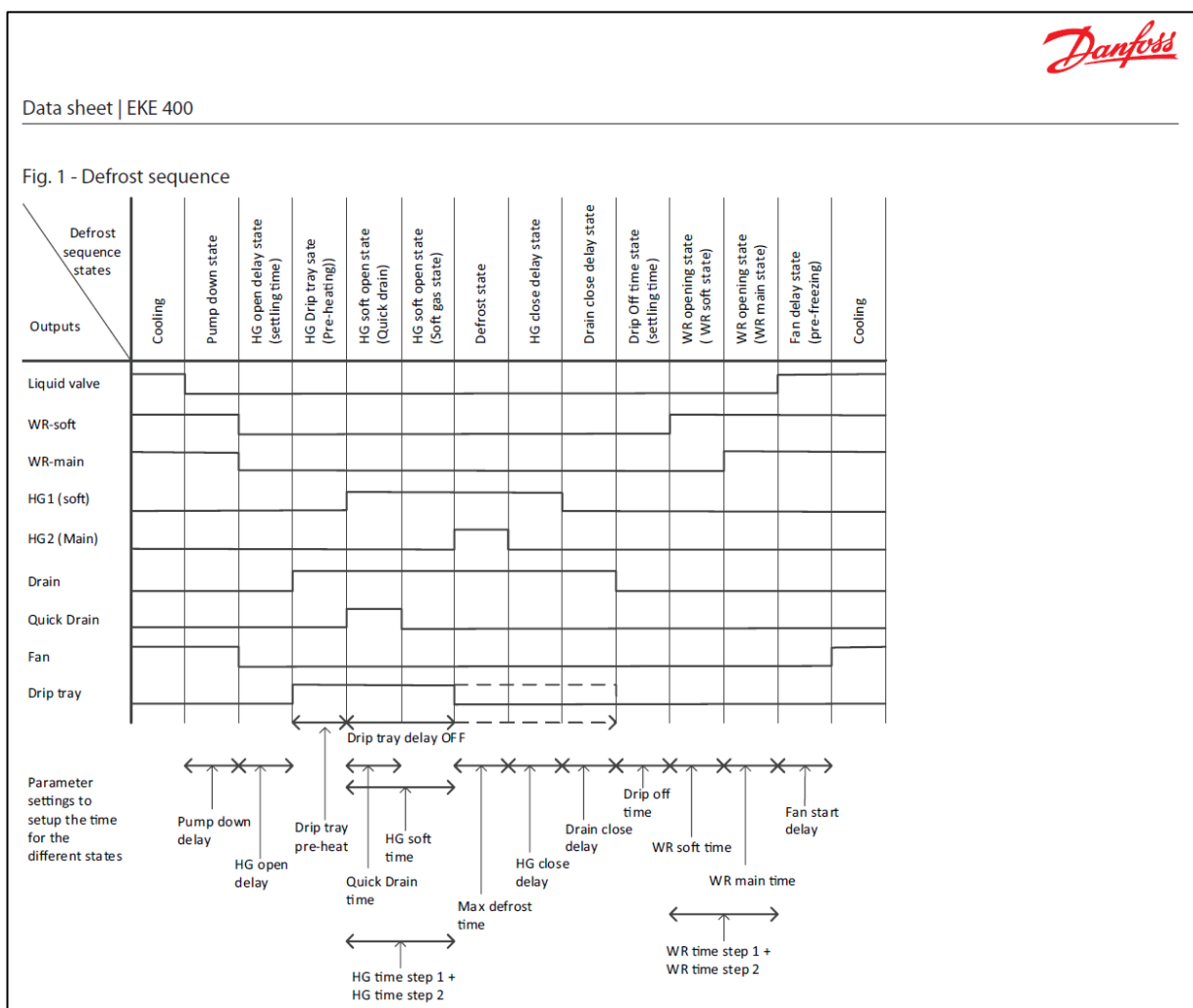
Denne intelligente databehandling tænkes foretaget på 2-3 parametre, og når alle 2-3 har "sat flag" stoppes afrimningsforløbet for den pågældende og for hele rækken af fordampere. Måske skal der tillægges lidt på parametrene for andre fordampere end masterfordamperen for at tagen hensyn til at der kan være forskel på tilrimningen af de enkelte fordampere.

Et oplæg til behandlingen af de enkelte stopsignaler blev nøje beskrevet.

3.4.5. Andre forhold vedrørende afrimning

Ud behovet for brugbare signaler til at starte og stoppe en varmgasafrimning skal der også tages hånd om hensigtsmæssig styring af start og stop af væsketilførsel, start og stop af varmgastilførsel, start og stop af ventil til våd retur, samt styring af omdrejningstal og -retning for blæserne.

Som udgangspunkt blev efterfølgende principielle forløb fra Data Sheet for Danfoss Controller EKE 400, der er monteret på fordamper #16 i Brædstrup, benyttet. I tillæg til det principielle forløb fra Danfoss skal der også tages hensyn til blæsernes lydniveau på forskellige tidspunkter af døgnet gennem året, samt behovet for at minimere varmetab til udeluft ved at køre med et omdrejningstal på blæserne under afrimning, der lige akkurat modvirker skorstenseffekten, under afrimningen.

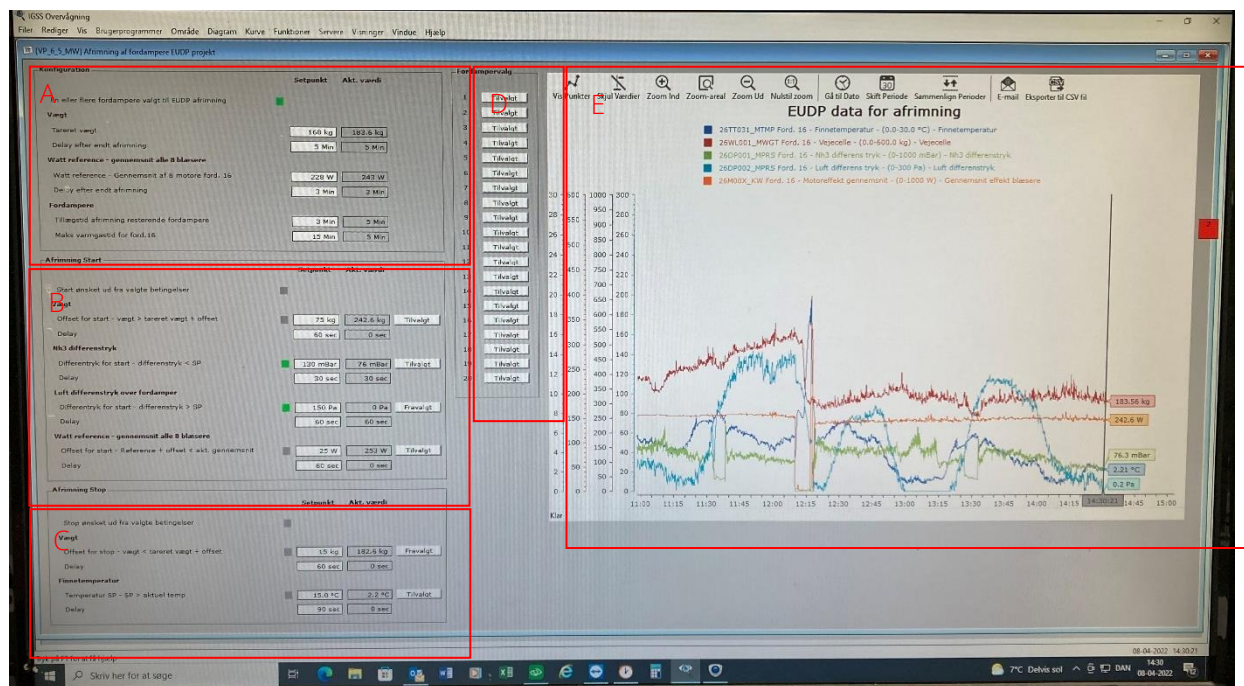


Effektiv varmgasafrimning sker bedst ved at kølemiddelkondensat (ammoniakvæske) ledes hurtigst muligt bort fra en fordampers coils håndteret af en svømmerventil monteret umiddelbart efter hver coil.

3.4.6. Ny varmgasafrimningsstyring

På baggrund af oplægget blev en ny varmgasafrimningsstyring udviklet af Frontmatec, der forud havde udviklet hele styringen af varmepumpeanlægget som underleverandør til Innoterm.

Den nye styrings brugerflade præsenteres som vist på efterfølgende foto på anlæggets IGSS system (Interactive Graphical SCADA System - Supervisory Control And Data Acquisition) ved Brædstrup Fjernvarme:



Figur 50: Brugerflade ny varmgasafrimning fra IGSS'en

Brugerfladen består af flg. 5 hovedelementer:

- A: Konfiguration
- B: Afrimning start
- C: Afrimning slut
- D: Fordampervalg
- E: Graf med måledata

Efter udviklingen af den nye styring blev der foretaget flere tests af styringen med henblik på at finde ud af om den nye styring kunne indstilles og indreguleres til optimal afrimning.

Overordnet set var erfaringerne med den nye afrimningsstyring, at de valgte start- og stopsignaler ikke "opførte" sig ens og hensigtsmæssigt i drifts- og afrimningsperioder, så det mod forventning var svært at få styringen indstillet til at fungere tilfredsstillende under alle forhold. I perioder fungerede det fint og meget bedre end den oprindelige "æggeurs-styring", men i andre perioder svigtede afrimningsstyringen.

På baggrund af erfaringerne virker det mest hensigtsmæssigt at benytte et startsignal fra målinger af alle blæseres optagne elektriske effekt hver især, samt et stopsignal fra en målt finnetemperatur. Tanken om at benytte målinger fra én fordamper som master til afrimning af alle de øvrige fordampere er god.

Til aller sidst i projektforsløbet blev en ændring af styringen bestilt ved Frontmatec, således at defroststyringen kan blive startet, når 2 ud af de 8 blæsere på reference-fordamperen viser forhøjet optag af elektrisk effekt i stedet for gennemsnittet af alle 8 blæsere. I skrivende stund er denne ændring af styringen desværre ikke blevet implementeret og testet.

4. Test i lab

Dette afsnit i delrapporten beskriver det arbejde der er blevet udført med hensyn til at foretage test under laboratorieforhold.

4.1. Laboratorietest ved Teknologisk Institut

Bidrag fra Teknologisk Institut:

Ret tidligt i projektforsløbet havde Fincoil Luve Oy en idé og et ønske om at udføre forsøg under laboratorieforhold med $\frac{1}{8}$ fordamper af den samme type, som er installeret på varmepumpeanlægget i Brædstrup.

Der blev fremstillet tegninger af 2 testfordampere og udarbejdet oplæg til testprogram, men Luve valgte at udføre forsøg i Finland i stedet for at udføre dem som en del af projektet.

Derefter blev tankerne om udførelse af laboratorietests i projektet droppet.

5. Referencer

[1] 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

[2] Brice Rogie (2020): **Guidelines to prevent air recirculation of an air-source large-scale heat pump.** Internt dokument udarbejdet til dette projekt



TEKNOLOGISK
INSTITUT