



EUDP-projekt

Projektrapport Ny sensor til kølesystemer



Slutrapport

Titel:

EUDP-projekt
Projektrapport
Ny sensor til kølesystemer

Projekt:

EUDP-projekt Journalnr.: 64013-0158
Færdigudvikle, teste og kommercialisere et nyt sensorprincip til kølesystemer

Udarbejdet for:

EUDP Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram

Udarbejdet af:

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

og

HB Products A/S
Bøgekildevej 21
8361 Hasselager

Forfattere:

Svenn Ole Kjøller Hansen
Jesper Weinkauff Kristoffersen
Alexander Rosenvinge Lindholm Bork

og

Anders Christian Haahr
Michael Elstrøm

August 2018

Filnavn:

Slutrapport HB Product projekt 2018_08_16.doc

Indholdsfortegnelse

1.	Projektdetaljer	4
2.	Kort beskrivelse af projektmål og resultater	4
3.	Sammendrag	5
3.1	Projektet	5
3.2	Projektets resultater	5
3.2.1	Fase 1: Projektstart	5
3.2.2	Fase 2: Design/udvikling	5
3.2.3	Fase 3: Laborietest - af sensor under stationære forhold	5
3.2.4	Fase 4: Laborietest - af sensor i fordampersystemer	6
3.2.5	Fase 5: Site test - af sensor indbygget i "rigtige anlæg" under virkelige forhold	6
3.2.6	Fase 6: Dokumentation	7
3.2.7	Fase 7: Videnformidling	7
3.2.8	Fase 8: Projektledelse	7
3.3	Forventet udnyttelse af projektresultaterne	8
4.	Projektmål	9
4.1	Projektets mål og gennemførelse	9
4.2	Projektets forventninger blev indfriet	10
5.	Projektresultater og formidling af resultater	10
5.1	Projektets kommercielle resultater	10
5.2	Projektets tekniske resultater	11
5.2.1	Fase 2: Design/udvikling	11
5.2.2	Fase 3: Laborietest - af sensor under stationære forhold	13
5.2.3	Fase 4: Laborietest - af sensor i fordampersystemer	17
5.2.4	Fase 5: Site test - af sensor indbygget i "rigtige anlæg" under virkelige forhold	19
5.2.5	Site test af varmepumpeanlæg for HB Products i Hasselager	26
5.2.6	Site test af anlæg i Australien og USA	30
5.3	Formidling af projektets resultater	31
5.3.1	Fase 7: Videnformidling	31
6.	Udnyttelse af projektresultater	32
6.1	Markedsføring	33
6.2	Forretningsplan	33
6.3	Patenter	34
7.	Projekt konklusion og perspektiv	34
7.1	Projektkonklusion	34
7.2	Forventet udnyttelse af projektresultaterne	34
8.	Bilag	35
8.1	Relevante links	35

1. Projektdetaljer

Project title	Develop, test and commercialize a new sensor principle for re- frigeration systems
Project identification (pro- gram abbrev. and file)	64013-0158
Name of the programme which has funded the project	Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram EUDP
Project managing compa- ny/institution (name and ad- dress)	HB Products A/S Bøgekildevej 21 8361 Hasselager
Project partners	Technological Institute SVK Energi Grundfos JH Development A/S
CVR (central business register)	26693934
Date for submission	16.08.2018

2. Kort beskrivelse af projektmål og resultater

English

Project objectives

Final develop, test and spread the knowledge about new possibilities for big environmental savings using new control, regulation and monitoring of refrigeration plants with natural refrigerants with focus on hydration to evaporators and protection against slugging in compressors and based on the use of a new designed sensor HB-WDX Control System.

Project results

Throughout the project process, the sensor principle has been tested both under laboratory conditions and under real conditions. In the project, the focus was primarily on utilizing the principle for controlling liquid supply to evaporators in ammonia plants, but the principle can also be used to protect against liquid hammer in compressors and for monitoring liquid levels in vessels in refrigeration plants with HFC refrigerants, CO₂ and hydrocarbons. There has been great interest in the principle at presentations at several international conferences and exhibitions. HB Products has high expectations for increased production, employment and export of products that exploit the principle.

Dansk

Projektmål

Færdigudvikle, teste og udbrede kendskabet til nye muligheder for store energibesparelser ved anvendelse af ny styring, regulering og overvågning af køleanlæg med naturlige kølemidler med fokus på væsketilførsel til fordampere og sikring mod væskeslag i kompressorer og baseret på anvendelse af et nyudviklet sensorprincip HB-WDX Control System.

Projektræsultater

Sensorprincippet er gennem projektførløbet blevet testet både under laboratorieførhold og under virkelige førhold. I projektet var der primært fokus på udnyttelse af princippet til styring af væsketilførsel til fordampere i ammoniakanlæg, men princippet kan også anvendes til sikring mod væskeslag i kompressorer og til overvågning af væskniveau i beholdere i køleanlæg med HFC-kølemiddel, CO₂ og kulbrinter. Der har været stor interesse for princippet ved præsentationer på flere internationale konferencer og messer. HB Products har store forventninger til øget produktion, beskæftigelse og eksport af produkter, der udnytter princippet.

3. Sammendrag

3.1 Projektet

Projektet bestod af følgende delaktiviteter:

- Fase 1: Projektstart
- Fase 2: Design/udvikling
- Fase 3: Laborietest - af sensor under stationære førhold
- Fase 4: Laborietest - af sensor i fordampersystemer
- Fase 5: Site test - af sensor indbygget i "rigtige anlæg" under virkelige førhold
- Fase 6: Dokumentation
- Fase 7: Videnformidling
- Fase 8: Projektledeelse og -administration

3.2 Projektets resultater

3.2.1 Fase 1: Projektstart

Efter accept fra EUDP i sept. 2013 blev projektet nærmere planlagt og organiseret med en følgegruppe og en projektgruppe omfattende TI og HB Products A/S, der skulle forestå den faglige projektledeelse samt en ekstern konsulent hyret af HB Products A/S til at forestå den administrative projektledeelse. I første omgang blev der udarbejdet en projektplan og en detailplan for de forventede projektaktiviteter og alle projektdeltagere samt potentielle projektdeltagere/samarbejdspartnere blev besøgt for nærmere forventningsafstemning og aftaler om deres projektdeltagelse.

I sept. 2013 blev der afholdt et kickoff-møde for at fortælle nærmere om projektets forløb og forløb og dette blev fulgt op af følgegruppemøder i jan. 2014 med henblik på at få indgået aftaler om projektsamarbejde. Dernæst blev der arbejdet på at udarbejde og indgå en aftale om projektsamarbejde, som alle deltagerne kunne tiltræde. Det viste sig at tage ca. 7 måneder og rigtig mange timer at få en aftale på plads, da de store projektdeltagende virksomheder havde aftaleudkastet forbi deres juridiske afdelinger, som alle ønskede at sætte deres fingeraftryk på aftalen, hvilket krævede utroligt mange revisioner. Aftalen blev derfor først endelig indgået i marts 2015, hvorefter projektet for alvor kom i gang rent fagligt.

3.2.2 Fase 2: Design/udvikling

Sensorerne er både mekanisk og elektronisk blevet videre- og færdigudviklet af HB Products A/S og JH Development i takt med at forskellige β -udgaver og endelige versioner af sensorerne er blevet testet og afprøvet under laboratorieførhold, i et demonstrationsanlæg, ved site-tests og indhøstede erfaringer gennem ordrer til nye anlæg rundt omkring i verden.

3.2.3 Fase 3: Laborietest - af sensor under stationære førhold

HBX-sensorerne blev testet med ammoniak under laboratorieførhold ved Teknologisk Institut i In-line- og Rod-style-versioner for at få viden om stabilitet af signal, repetérbarhed, betydning

af sensorens indbygning/placering, kalibreringsværdier ved forskellige placeringer af sensoren, samt bedst mulige placering i forhold til et systemdesign.

Testene blev udført med forskellige mætningstemperaturer, gaskvaliteter og gashastigheder. In-line-sensoren som "ser" hele flowet gav det mest retvisende signal. Resultaterne for Rod-style-sensoren som kun "ser" en del af flowet var påvirket af en uhensigtsmæssig indbygning i specielle bøjninger. Generelt kan man konstatere at sensorerne reagerer lynhurtigt uden forsinkelse på ændringer i gaskvaliteten. Sensorerne er klart afhængige af både gashastigheden og tryk/temperaturen, hvilket især betyder at det er meget vanskeligt at fastlægge en bestemt gaskvalitet (X-værdi) til et givet signal fra sensoren. Princippet kan benyttes til styring af væsketilførslen til fordampere på både DX og pumpecirkulations anlæg.

Signalet fra sensoren følger void-fraction-princippet, hvilket betyder at sensoren måler væskeandelen i gassen, som passerer sensoren. Udfordringen er, at væske- og gashastighed er forskellig og dermed vil den procentmæssige væskeandel være større ved lave gashastigheder i vandretliggende rør. Sensoren skal kalibreres til anvendelsen afhængig af om anvendelsen er til DX (Direct expansion) eller cirkulationstals styring. For anvendelse til DX er det ikke kritisk om X-værdi-signalet fra sensoren matcher en reference værdi. Her er det vigtigere at sensoren reagerer momentant når gassen ændrer tilstand fra tør til våd i et meget lille måleområde fra $X = 0.9$ til 1.0 samt at gentagelsesnøjagtigheden er 100%. Der er leveret mere end 100 stk sensorer, som er indstillet med default-værdier, der er i stand til at regulere med en meget lille overhedning fra $0,5$ til 1.0°K uafhængig af fordamper/rørstørrelse.

Cirkulationstals styring på et pumpecirkulationsanlæg er erfaringsmæssigt også muligt uden reference værdier til X-skalaen. Kalibreringsværdierne er her 10 gange højere end sensorer anvendt til DX. I praksis er det, sammenlignet med andre faktorer såsom varierende pumpe-tryk og væskefyldte risere og sugeledninger, en stor fordel at kunne minimere mængden af cirkuleret kølemiddel.

3.2.4 Fase 4: Laboratorietest - af sensor i fordampersystemer

Et demonstrationsanlæg blev fremstillet til udstilling ved Chillventa 2014 og til test af sensoren under dynamiske forhold. Anlægsdesignet var bygget op omkring idéen om at benytte en ejetektor til at recirkulere overskudsvæske fra en opsamlingsbeholder tilbage til fordampeindløbet. Sensoren virkede efter hensigten, men det lykkedes desværre aldrig rigtig at få ejetektoren til at levere tilstrækkeligt med "sugetryk" til at få recirkulationen til at virke.

3.2.5 Fase 5: Site test - af sensor indbygget i "rigtige anlæg" under virkelige forhold

Site-testene blev gennemført med køle-/frostanlæg hos Claus Sørensen i Vejle, med varmepumpeanlæg hos HB Products i Hasselager, samt med forskellige køleinstallationer i USA, Australien og flere europæiske lande.

Site-testen ved CS i Vejle blev udført på 2 af afdelingens indfrysningstuneller; tunnel 2 og tunnel 9. Der blev monteret sensorer på taget for enden af hvert riser-rør på tunnel 2. Sensorerne registrerede og viste meget fint, hvad der foregik i toppen af riserne fra tunellens fire fordampere monteret i stak – og afslørede bl.a. at den nederste fordamper i tunnel 2 ikke virkede som den skulle.

Erfaringerne fra tunnel 2 blev brugt til ombygning og videre tests med tunnel 9, hvor sensorer og væskeventiler blev installeret tæt på indløb og udløb af hver fordamper. Sensorerne virkede fint og afspejlede hvad der skete på de steder, hvor de var monteret. Der blev bl.a. konstateret stort tryktab i riser-rør fra nederste fordamper, aftagende X-værdier i takt med reduceret køleydelse gennem indfrysningsforløbene, samt stor forskel på køleydelserne og afrimningerne af fordamperne. Fordamper 1 i bunden ydede mindst og fordamper 4 i toppen mest. Meget tydede på, at der var "opstukket" væske på sensorpositionen pga. efterfølgende riser, så det blev besluttet at gå tilbage til tunnel 2 og foretage ændringer på og yderligere test med denne.

Der blev ændret på forholdene på tunnel 2 således at hver fordampner fik egen væskeventil type Danfoss AKVA og separate væskerør monteret på taget af bygningen over tunnelen. Det blev bl.a. konstateret at AKVA-ventilerne fungerede ikke optimalt – formodentlig pga. varierende trykdifferenstryk over ventilerne forårsaget af ujævnt og for lavt pumpetryk. Sensorerne fungerede stort set efter hensigten ved CS i Vejle, styringen blev justeret undervejs, men anlægsforholdene viste sig at være særdeles vanskelige – men lærerige.

Site-test blev udført ved etablering af et varmepumpeanlæg for HB Products i Hasselager. Installationen skulle primært (be)vise at void fraction sensoren kan bruges til at regulere væske-tilførslen til DX-fordampere i systemer med HFC-kølemiddel R407C – som alternativ til traditionel overhedningsstyring. Installationen skulle desuden teste at HBDF defrost sensoren kan styre afrimningen af fordampere, at HBCP compressor protection sensoren kan beskytte kompressorer, samt at HBCL liquid level sensoren kan overvåge kølemiddelfyldningen i anlægget. Det blev installeret 3 forskellige fordampnerprodukter på 3 varmepumpeenheder, som blev installeret i og på en 20 fods container. På baggrund af tests blev det bl.a. konkluderet at *”der ved brug af HBX vapor quality sensoren er en øget COP-faktor med: 6,3%”,* samt *”at HBX vapor quality sensoren fungerer, som en udmærket substitut for overhednings-styringen”,* samt at alle sensorerne (HBX Vapor Quality Sensor, HBCP Compressor Protection Sensor og HBLC Liquid Control Sensor) fungerede tilfredsstillende med HFC-kølemidlet R407C.

Sideløbende med projektet har HB Products løbende været i kontakt med virksomheder, som har vist større eller mindre interesse for sensoren og dens anvendelse. Nogle af disse virksomheder har fået (β -test-versioner) eller købt færdigudviklede sensorer og bygget dem ind i anlæg og fået erfaringer med dem. Stefan Søby Jensen fra Scantec Refrigeration Technologies Pty Ltd i Australien har gennem en årrække interesseret sig for sensoren og har bygget den ind i flere anlæg og høstet gode erfaringer med den. Stefan deltager ofte i internationale kølekonferencer og har ved flere lejligheder de seneste år omtalt og præsenteret resultater og erfaringer med sensoren på disse konferencer. Bruce I. Nelson fra Colmac Coil Manufacturing Inc. i USA er én af pionererne indenfor *”low-charge-ammonia-systems”* og han har også gennem en årrække interesseret sig for sensoren og har integreret sensoren i flere produkter og høstet gode erfaringer med den. Bruce deltager ofte i internationale kølekonferencer og har ved flere lejligheder de seneste år ligesom Stefan omtalt og præsenteret resultater og erfaringer med sensoren på disse konferencer.

3.2.6 Fase 6: Dokumentation

Der er gennem projektets fase 3-5 løbende arbejdet med at dokumentere de udførte test og deres resultater. Endvidere er der udarbejdet en forretningsplan for HBX-sensoren, som den betegnes ved HB Products A/S.

3.2.7 Fase 7: Videnformidling

Der har været artikler i flere fagblade om sensoren – bl.a. har der været en artikel i bladet Kulde og varmepumper. Sensoren er blevet omtalt og præsenteret på flere internationale konferencer; Gustav Lorentzen konferencen GL2016 i Edinburgh i 2016, Gustav Lorentzen konference i Valencia i 2018 og IIAR årlige konference og udstilling i San Antonio i 2017. Michael Elstrøm har desuden holdt indlæg om sensoren i Finland, Tyskland og Schweiz.

3.2.8 Fase 8: Projektledelse

Projektledelsen blev varetaget af HB Products A/S med støtte fra TI og en ekstern konsulent hyret af HB Products A/S som administrativ projektleder. Opdelingen med en faglig og en administrativ projektleder har fungeret rigtig godt, idet den faglige projektleder har kunnet fokusere på projektets faglige indhold og udvikling støttet af input fra den administrative projektleder. Projektledelsen blev varetaget gennem periodiske (ofte månedlige) projektmøder og

supplerende møder, hvor der typisk er diskuteret projektstatus og fremdrift, nye ideer samt besluttet relevante tiltag. Der er afholdt 24 projektmøder, hvorfra der foreligger referat.

Projektledelsen har løbende haft fokus på projektets faglige formål og indhold, tidsplaner samt budgetter og realiserede omkostninger. Projektet har, grundet forsinkelser i de gennemførte laboratorie- og sitetest, søgt om og fået bevilliget udsættelse af projektafslutningen flere gange, hvorved tidsplanerne samtidig er blevet revideret og godkendt. Det gælder også for projektbudgettet, som er overholdt samlet set, men hvor det flere gange har været nødvendigt at revidere de enkelte poster bl.a. som følge af ændringer og forsinkelser i projektet.

Administrativ projektleder har gennem Excel ark i Dropbox sikret løbende registreringer af de enkelte projektdeltagers timeforbrug og udlæg og indrapporteret disse til EUDP, når der var forbrugt et passende antal timer/beløb.

Der har været afholdt 4 følgegruppemøder inkl. det indledende kickoff-møde, hvor projektstatus, resultater og planer er blevet præsenteret og diskuteret.

3.3 Forventet udnyttelse af projektsresultaterne

Som allerede angivet i projektansøgningen, er der gode muligheder og et stort potentiale for udnyttelse af sensorteknologien i forhold til følgende:

- Bedre fordampersstyring
- Reduktion af energiforbrug
- Større sikkerhed
- Billigere ammoniakanlæg
- Mindre miljøbelastning
- Vækst og beskæftigelse

Ny patenteret sensorteknologi løser mange af de udfordringer, som designere af køle- og varmepumper udfordres af, da det nu er muligt at måle to-fase flow (gaskvalitet) i sugeledningen efter køleren/fordamperen og regulere kølemiddeltilførslen afhængig af fordamperbelastningen uden overhedning af gassen. Derved opnås optimal effektivitet, da hele fordamper-arealet på kølemiddelsiden er våd for bedst mulig varmetransmission, og ligeledes minimeres volumen af gassen som derved mindsker kompressorarbejdet.

Nuværende overhedningsteknologi (Superheat) er baseret på beregning via tryk- og temperaturmåling hvilket giver et overhedningssignal, som er et udtryk for, hvor tør gassen er. Beregninger baseret på flere målesignaler er erfaringsmæssig ustabile, og man skal normalt have en høj sikkerhed i form af høj overhedning på 6 til 10 K, for at kompressoren ikke risikerer at blive beskadiget af kølemiddelvæske.

HBX-XX sensoren er baseret på det kapacitive måleprincip og er en direkte måling af gassens tilstand/tørhedsgrad. Sensoren reagerer momentant, hvis gassens tørhedsgrad ændres i det målte medie. Erfaringer med styringer af køleanlæg har vist, at hele systemet er i meget bedre balance, og at man kan kontrollere kølemiddelsgassen meget præcist med maksimum 1 K overhedning og samtidig minimere risiko for væskeslag i kompressoren.

Med øget fokus på naturlige kølemidler er vi stolte over at lancere et Columbus-æg, som vil revolutionere den måde, man designer og kontrollerer fremtidens køle- og varmepumpesystemer på.

Besparelsespotentialet er stort:

- Energi.....>20%
- Installations.....>30%
- Vedligeholdelse.....>30%

Markedet er i høj grad drevet af ønsket om en minimering af energiforbruget samt af nye myndighedskrav om brug af mere miljøvenlige kølemidler. Energiforbrug til køling udgjorde i år 2000 ca. 12 % af elforbruget i Danmark og i varmere lande er det noget højere. Køling er dermed en stor bidragsyder til CO₂-udledningen. HBX-XX sensoren forventes at medføre et reduceret på over 10 %.

Jævnfør udarbejdet forretningsplan har HBX-sensoren en global nyhedsværdi, da der ikke findes tilsvarende på markedet. Der er allerede flere eksempler på dens anvendelse i nye køleanlæg i bl.a. Australien, Frankrig, Holland, USA og Holland. HBX har en lang række fordele:

- Større sikkerhed for at køleanlægget holder korrekt lav temperatur, hvilket sikrer værdien af varer i kølehuset.
- Optimering og bedre fordampersstyring gennem minimering af trykfald og muliggørelse af low charge ammoniak DX-systemer (min. kølemiddelfyldning i anlægget), og dermed opnåelse af energibesparelse og forøget person og anlægssikkerhed pga. reduceret fyldning af kølemiddel.
- Gør det muligt at undgå store tryktab i lodrette sugerør/risere.
- Giver mulighed for øget anvendelse af naturlige kølemidler og en reduktion af GWP.
- Kan gøre køleanlæg mindre og dermed mere konkurrencedygtige.

HBX-sensoren forventes med en omsætning på 26 mio. kr. at udgøre ca. 1/3 af HB Products omsætning i 2023/24, hvoraf hovedparten går til og medfører en tilsvarende stigning i eksporten. Dette forventes at skabe 10-20 nye arbejdspladser ved HB Products og minimum et tilsvarende antal nye arbejdspladser ved danske underleverandører.

4. Projekt mål

4.1 Projektets mål og gennemførelse

Formålet med projektet var at afprøve sensorteknologien på forskellige kølesystemer og løbende udvikle/tilpasse sensoren hertil. Laboratorietesten på TI og fieldtesten hos Claus Sørensen A/S i Vejle viste, at sensortype, placeringen og efterfølgende rørføring er meget kritisk.

Sensordesignet er derfor blevet optimeret og leveres nu i specielle versioner afhængig af systemdesign. Sensorteknologien er således udviklet til salgbare produkter, - varianter og bestillingskoder kan ses på HB Products hjemmeside.

Projektets gennemførelse har vist, at kølesystemer er meget komplekse, og at optimering med sensoren er meget systemafhængig og derfor ofte kræver flere nye tilpasninger for at opnå det ønskede resultat.

Projektets hovedmål er blevet opfyldt og de fastlagte milepæle nået, men der har været mange udfordringer undervejs i form af;

- Stort tidsforbrug til indgåelse af aftale om projektsamarbejde
- Frafald af projektdeltagere, der ikke ønskede at opfylde projektets administrative forpligtelser og søgning af nye potentielle deltagere
- Udfordringer med, at flere projektdeltagere trods indgået projektaftale alligevel ikke bidrog til projektets gennemførelse og resultater
- Udfordringer med at finde en virksomhed, der ville stille sig til rådighed for en sitetest
- Udfordringer med at få opstillet og indkørt laboratorie- og sitetest – og opnå de forventede resultater især ved anlægsforholdene ved Claus Sørensen A/S i Vejle
- Udfordringer med at fremskaffe 3 forskellige fordampere til udendørs opstilling af en varmepumpeinstallation ved HB Products og med efterfølgende kompressorhavarier.

Dette har medført, at projektets tidsplan og budget er blevet ændret flere gange. Det samlede budget er dog overholdt, ligesom det faglige indhold er opnået, så der er alene tale om tidsmæssige forsinkelser.

4.2 Projektets forventninger blev indfriet

Projektet er i det store og hele lykkedes med dét, der på ansøgningstidspunktet blev angivet i projektansøgningen som muligheder og potentiale for sensorteknologien, og som er angivet nedenfor i stikordsform:

Bedre fordamperstyring

Optimering af fordampere
Minimering af trykfald
Forbedring af effektivitet ved cirkulationstalsstyring
Større sikkerhed for korrekt lav temperatur ved højere sugetryk
Muliggørelse af DX-anlæg med NH₃
Ingen påvirkning af evt. vandindhold i ammoniak

Reduktion af energiforbrug

Fjerne våde returrør
Minimere trykfald mellem fordamper og kompressor
Energimæssige forbedringspotentialer for lavtemperatursystemer på 13-19%
Forventet energibesparelse på mindst 25 %
Minimering af store tryktab i lodrette våde returrør (såkaldte "risere")
Reduktion af overhedning
Hævning af anlæggets fordampetryk

Større sikkerhed

Mindre risiko og dermed større personsikkerhed
Sikring mod væskeslag i kompressorer
Reduktion af kølemiddelfyldningsmængde (med faktor 10)
Low charge DX-systemer (min. kølemiddelfyldning i anlægget/pumpecirkulationen)

Billigere ammoniakanlæg

Muliggør en væsentlig simplere og enklere anlægsopbygning og -konstruktion
Større fleksibilitet i rørføring
Rørstørrelser for væske og sugerør kan gøres mindre og ingen våde returledninger
Formindske størrelse af eller helt undgå separatorer
Markant reduktion af omkostninger til opbygning og installation på op til ca. 50 %

Mindre miljøbelastning

Mulighed for øget anvendelse af naturlige kølemidler
Overgang fra miljøproblematiske HFC-fyldninger til mere miljøvenlige kølemidler

Vækst og beskæftigelse

Udnytte og udvikle danske energiteknologiske erhvervspotentialer
Produktion i Danmark og eksport til udlandet
Nye arbejdspladser og øget beskæftigelsen ved HB Products A/S med 10 - 30 medarbejdere.

5. Projektresultater og formidling af resultater

5.1 Projektets kommercielle resultater

Der var fra projektets begyndelse store forventninger i projektets forretningsmæssige resultater, idet projektet gennem de udførte tests og demonstrationer og den dermed forbundne vali-

dering af sensorens mange egenskaber overfor kunderne forventedes at være med til at sikre en hurtig udbredelse af sensoren til nuværende og nye kunder ved HB Products.

Dette har også vist sig at holde stik, idet den udviklede HBX-sensor allerede har været i kommercielt salg de sidste 3 år. Det har i regnskabsåret 2017/18 allerede medført en omsætning på ca. 1 mio. kr. til det industrielle kølemarked (hovedsagelig til eksport) og dermed udløst behov for at ansætte yderligere en medarbejder.

Samtidig har HBX-sensoren potentiale til, at HB Products kan slå hul på det kommercielle kølemarked (fx supermarkeder), så den forventede omsætningsudvikling på disse markeder forventes at indeholde stigninger – på det kommercielle kølemarked. Sågar kraftige stigninger, så sensoren i år 2013/24 forventes at omsætte for i alt 26 mio. kr. fordelt med 6 mio. kr. på det industrielle kølemarked og 20 mio. kr. på det kommercielle kølemarked.

Forventningerne til projektets kommercielle resultater er således indfriet.

Vedr. projektet, og i hvor stor grad det er lykkedes at realisere målene, høstede erfaringer fra laboratorie test og fieldtest sammenholdt med erfaringer fra mange installationer hos kunder har bevist at teknologien virker. Verificering og dokumentation fra testen hos Claus Sørensen i Vejle kunne desværre ikke færdiggøres inden for de økonomiske rammer og den fastlagte tidsgrænse. Årsagen har primært været uforudsete problemer med det eksisterende system.

5.2 Projektets tekniske resultater

Projektets tekniske indhold var bygget op omkring følgende delaktiviteter, som efterfølgende er beskrevet:

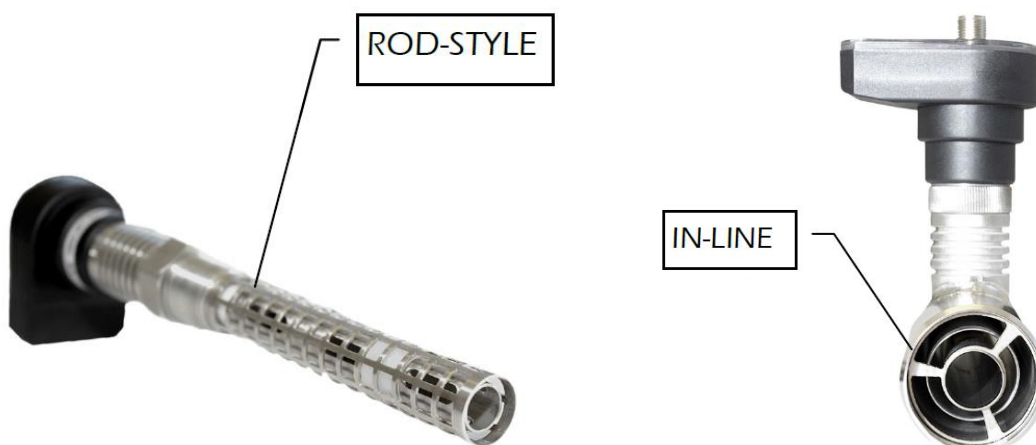
- Fase 2: Design/udvikling
- Fase 3: Laboratorietest - af sensor under stationære forhold
- Fase 4: Laboratorietest - af sensor i fordampersystemer
- Fase 5: Site test - af sensor indbygget i "rigtige anlæg" under virkelige forhold

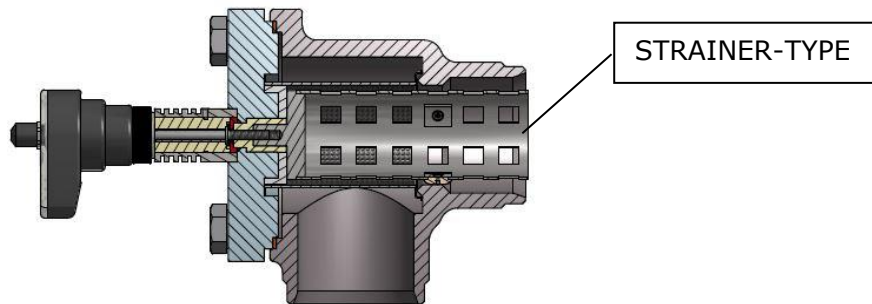
5.2.1 Fase 2: Design/udvikling

Kort resumé:

Forud for projektet blev sensoren testet ved Teknologisk Institut, hvorved de grundlæggende egenskaber blev kortlagt. Gennem projektforløbet blev sensorerne videreudviklet mekanisk og elektronisk af HB Products og JH Development i takt med at der blev høstet erfaringer fra laboratorietests, demonstrationsanlæg, β -tests, samt salg af endelige versioner.

5.2.1.1 Sensorerne





Ved projektets start fandtes "Rodstyle" i 2 længder med enten NPT- eller BSPP-gevind, og "In-line" i én længde for 3 rørdimensioner. HB Products producerer i skrivende stund 3 grundtyper af Rod-style, 3 grundtyper af In-line (HBX-DX), samt (HBX-OVC) og en ny HBX-Strainer type. Sammen med og integreret i sensordesignet følger en mikroprocessorbaseret "HBDX CONTROL"-enhed. Enheden kan udsende et 4-20mA-signal, som er proportionalt med sensorindstillingen, og indeholder desuden en P-regulator og alarmfunktion, der kan indstilles.

Man skal være meget opmærksom på forskellen mellem anvendelse af sensorer af in-line-typen eller af rod-style-typen. En in-line-sensor kan monteres i både vandrette og lodrette rør og "ser" alt, hvad der strømmer gennem røret, mens en sensor af rod-style-typen kun "ser", hvad der strømmer gennem sensoren i den del af røret, hvor sensoren er placeret.

Sensoren findes i forskellige udgaver, så brugeren kan vælge enten at behandle sensorsignalet til indsprøjtningsventilen i egen styring eller i stedet kan benytte en integreret controller, der direkte kan kobles sammen med indsprøjtningsventilen, som kan være af modulerende type eller af stepper-motor-typen.

"Rigtig" placering af sensoren i rørsystemet afhænger af, hvad signalet skal benyttes til. I projektet har der været fokus på at benytte sensorsignalet til at styre væsketilførslen til fordampere, men sensoren kan også benyttes som elektronisk synsglas på et ønsket sted i rørsystemet.

Med "rigtig" placering i rørsystemet menes en placering af sensoren, så den måler repræsentativt på det, der strømmer ud i røret fra fordampers udløb. Når dette signal skal benyttes til at styre væsketilførslen på fordampers tilgangsside, må det ikke blive påvirket af andre strømningfænomener i rørsystemet på det sted, hvor sensoren er monteret. Ét af de fænomener, som man skal undgå, er ophobning af væske i sensoren, fordi rørtrækket efter sensoren føres opad i en "riser". I sådanne tilfælde kan der stå væske i sensoren, fordi det ikke kan komme væk. Tommelfingerreglen for at undgå dette problem er derfor, at rørtrækket med sensoren i efter fordampersudløbet ikke efterfølgende må føres opad, men kun vandret eller nedad.

Endvidere er det også vigtigt at indrette rørsystemet, så der er tilstrækkeligt med fald på et vandret rørstykke med en installeret sensor til at olie eller væske løber væk og ikke bliver stående i sensoren og dermed giver et falsk signal i forhold til den strømning af en væske/gasblanding, som man ønsker at registrere. Væske i sensoren kan findes efter en varmgasafrimning, indtil kondensatet på stedet er fordampet.

Måleprincippet og virkemåden af automatikken er beskrevet i HB Products Instruction Manual, som kan downloades fra firmaets hjemmeside.

Der er gennem projektforløbet bl.a. sket ændringer i elektronikken mht. frekvenser, rampefunktioner, hurtig lukning og langsom åbning, opstarts-delay ("dry out time"), m.m. Paramet-

rene for regulering af en modulerende ventil eller en steppermotorventil i sensorens indbyggede "controller" kan let indstilles via et såkaldt "configuration tool", som også kan downloades fra firmaets hjemmeside.

Sideløbende med projektets gennemførelse har HB Products haft stor succes med at forære β -udgaver af sensorerne til personer, virksomheder og steder, der har vist interesse for at indbygge og afprøve deres funktion. Med β -udgaver af sensorerne forstås, at der har været tale om sensorer, som i princippet ikke er færdigudviklede og frigivet til salg, og som derfor i princippet er leveret uden nogen form for ansvar eller garanti for funktion og ydeevne.

Gennem projektførelsen – især den sidste del - har HB Products desuden solgt adskillige sensorer i endelige udførelser til anlæg rundt omkring i verden. Med endelige udførelser menes versioner af sensorer med tilhørende controllere, som virksomheden har frigivet til salg efterhånden som der er etableret tilstrækkeligt grundlag for frigivelse til salg.

Erfaringerne fra både β -udgaver og endelige udførelser har været meget nyttige og vigtige for udviklingen af sensorerne og deres elektronik.

5.2.2 Fase 3: Laborietest - af sensor under stationære forhold

Kort resumé:

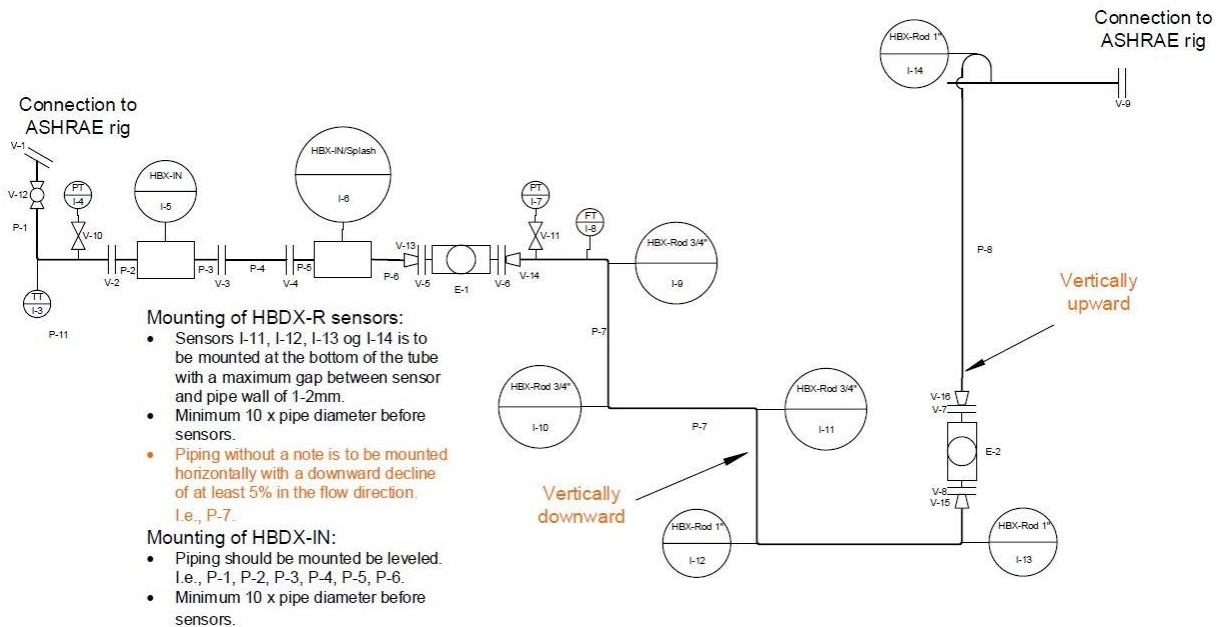
HB Products var på et tidspunkt af den holdning, at der ikke var opstået behov eller grundlag for at gennemføre yderligere forsøg og test på ASHRAE-anlægget ved Teknologisk Institut, så fasen blev taget ud af projektplanen, men laborietesten blev senere genindført.

5.2.2.1 Stationær test af HBX sensorer

Formålet med testen var at undersøge mulighederne for at benytte HBX sensorer til at styre væsketilførslen til fordampere i ammoniakøleanlæg. Testen var en stationær test, der skulle give indblik i stabilitet af signal, repetérbarhed, betydning af sensorens indbygning/placering samt kalibreringsværdier ved forskellige placeringer af sensoren. Testen skulle også kunne sige noget om den bedst mulige placering af HBX-sensorer i forhold til et bestemt systemdesign.

5.2.2.2 Testopstilling

Opstillingen er forbundet til et ammoniakanlæg i Teknologisk Instituts industrikølelaboratorium, kaldet testsystem. Testsystemet er designet til at kunne levere en ønsket gas- og væskeblanding ved et ønsket tryk. På efterfølgende Figur 5-1 ses et PI-diagram af testopstillingen.



Figur 5-1: PI-diagram af teststreng

Testopstillingen var opbygget med to typer af in-line sensorer og tre 3/4" rod-style sensorer samt tre 1" rod-style sensorer. Sensorerne var monteret i lige rørstrækninger og i rørbøjninger med både med- og modstrøm og med vandret, samt med opadgående eller nedadgående strømning. Derudover var der monteret to skueglas, som gav mulighed for at se og filme floret på de pågældende positioner. Montagen af HBX-rod sensorer blev foretaget i specielle T-stykker med en flad endebund, en gevindmuffe og en guideplade.

På Figur 5-2 ses et billede af set-up'et med markering af sensorplaceringerne.



Figur 5-2: Billede af teststreng

5.2.2.3 Test variabler

Testene blev udført med forskellige mætningstemperaturer, gaskvaliteter og gashastigheder

Mætningstemperaturer T_{sat} [°C]: -30, -20

Gaskvaliteter: X [-]: min, 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,98

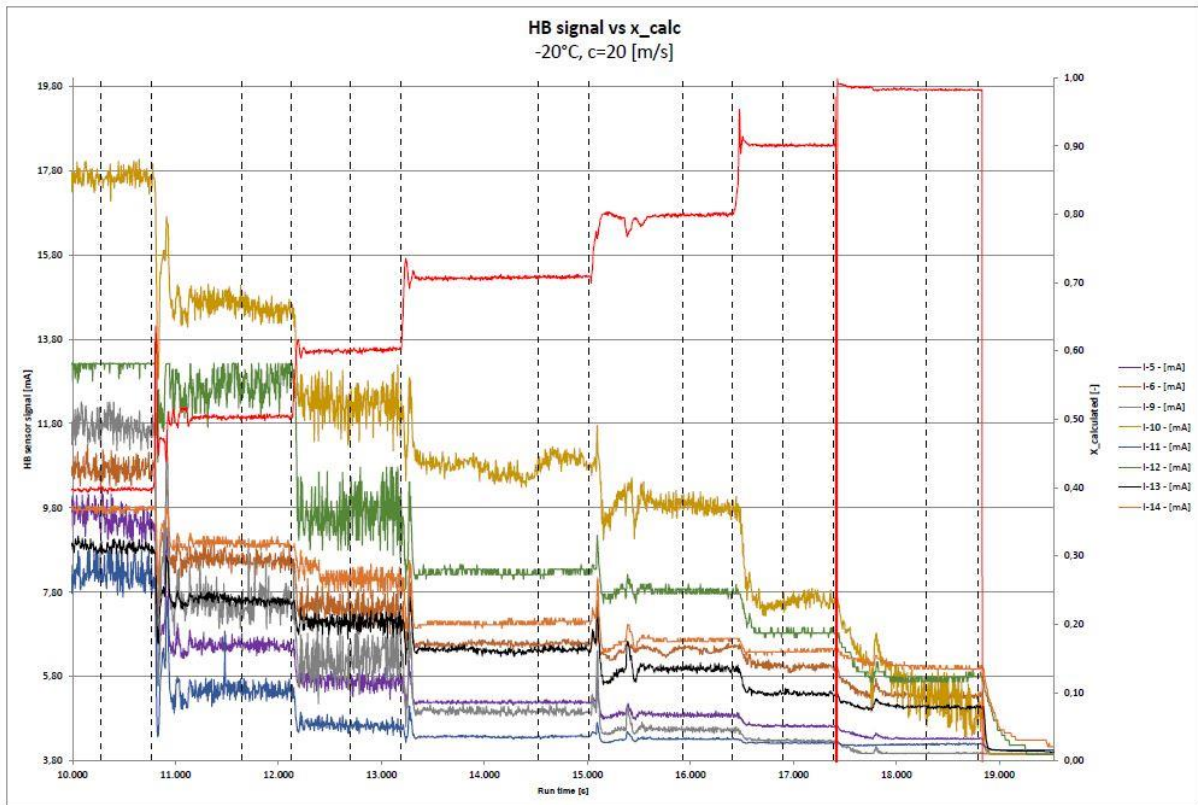
Gashastigheder:

T_{sat} [°C]	Min. [m/s]	Middel [m/s]	Max. [m/s]
-30	13	24,5	36
-20	10	20	30

5.2.2.4 Resultater

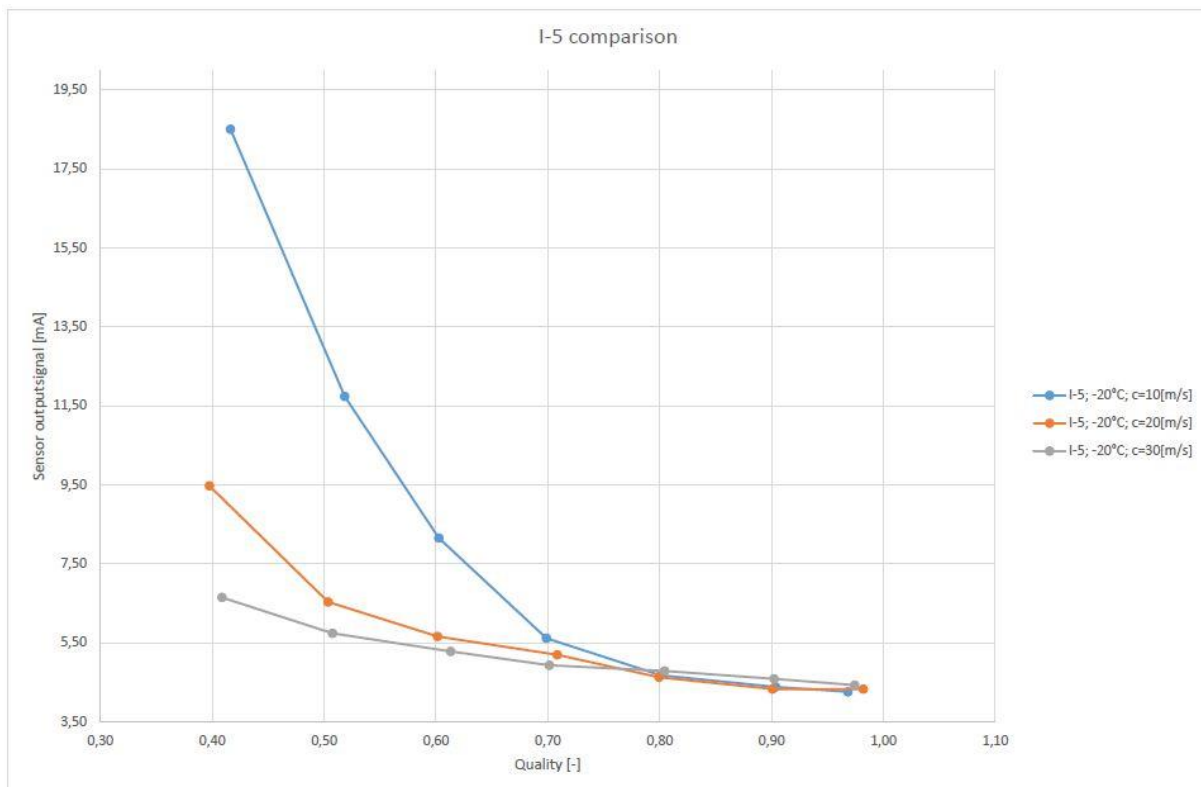
Der blev kørt to serier af tests. Første måleserie blev kørt ved -20°C og -30°C. Efter første måleserie blev resultater analyseret og ændringer foretaget i test-set-up'et på basis af de første resultater. Den vigtigste ændring mellem første og anden måleserie var at der er etableret yderligere fald på rørføringen. Anden måleserie blev udelukkende kørt test ved -20°C.

På efterfølgende Figur 5-3 ses det fulde billede af testresultater for en test ved -20°C med en gashastighed på 20 m/s.



Figur 5-3: -20°C, c=20 [m/s]

På efterfølgende Figur 5-4 ses en sammenligning af beregnede middelværdier for IN-LINE sensor I-5 ved -20°C og tre forskellige gashastigheder.



Figur 5-4: I-5 sammenligning ved -20°C

5.2.2.5 Konklusion

Under test blev det observeret at IN-LINE sensoren gav det mest retvisende signal. (Med mest retvisende signal menes, at det er den sensor, der sidder først i teststrengen og dermed ikke risikerer at blive forstyrret af noget. Samtidig har sensoren ikke vist nogle former for glid).

Dette formodes at skyldes større indbygningsfejl ved rod-style sensorerne, da de var installeret i en specialfremstillet bøjning. Yderligere måler IN-LINE sensoren i hele rørets tværsnit hvilket betyder, at den ikke opfatter at være fuldt oversvømmet, når der måtte være en flod af ammoniak i bunden af røret. Den "ser" altså al strømning af både gas og væske. Her kommer rod-style sensorerne til kort, da sensoren kun ser på den begrænsede del af flowet, der passerer gennem sensoren og derfor langt tidligere vil opfatte at være oversvømmet.

Generelt må man sige, at sensoren reagerer lynhurtigt uden forsinkelse på ændringer i gaskvaliteten. Dette var tydeligt både ved de enkelte indreguleringer til bestemte gaskvaliteter, men også ved provokation af riseren for at se slug flow.

5.2.2.6 Indbygningsfejl

Der er en udfordring i forhold til dråbefangsvirkningen af rod-style sensoren og væskeophobningen ved samme sensorer, hvor der forekom glid på kurverne. Det opadgående glid ved væskeophobning blev løst ved at øge fald på rørtrækket fra 5 ‰ til 10 ‰, hvilket er vigtigt at være opmærksom på ved fremtidig installering. Derimod var det ikke muligt at gøre noget ved det nedadgående glid (dråbefangsvirkningen) under testen.

5.2.2.7 Hastighedsafhængig

Sensorerne er helt klart afhængige af gashastigheden, hvilket øger usikkerheden meget i forhold til at kunne måle en bestemt gaskvalitet ved en virkelig opstilling. Om det her er muligt at kompensere for dette, for at kunne måle en bestemt x-værdi, eksempelvis med en flowmåler eller anden metode er værd at overveje, da gashastigheden, som nævnt tidligere, vil variere i en virkelig installation.

5.2.2.8 Temperaturafhængig

Under test var det også tydeligt at sensorerne er temperaturafhængige. Tænker man her på, hvilken betydning dette måtte have i en virkelig installation, må den anses for at være lille. En virkelig installation vil typisk være designet til én bestemt fordampningstemperatur, til netop installationens formål, og temperaturen vil derfor kun variere minimalt. Temperaturafhængigheden er derfor udelukkende vigtig ved installationen af sensoren, hvor det skal sikres, at man bruger de korrekte opsætningsværdier af ZERO og SPAN.

5.2.2.9 Afslutningsvis

Med ovenstående i baghovedet og det faktum at måling af gaskvalitet ikke er en nem opgave, har sensoren vist, at den kan benyttes til styring af væsketilførsel, hvor det er tilfredsstillende at køre i et "tørt område" dog uden at vide nøjagtigt ved hvilken gaskvalitet. Dette er dog et udsagn baseret på de udførte laborietests, hvor der udelukkende er kørt test i en teststreng med et kontrolleret flow. Der blev ikke kørt test med sensoren i et fordampersystem, hvor outputsignalet er benyttet til at styre væsketilførslen med.

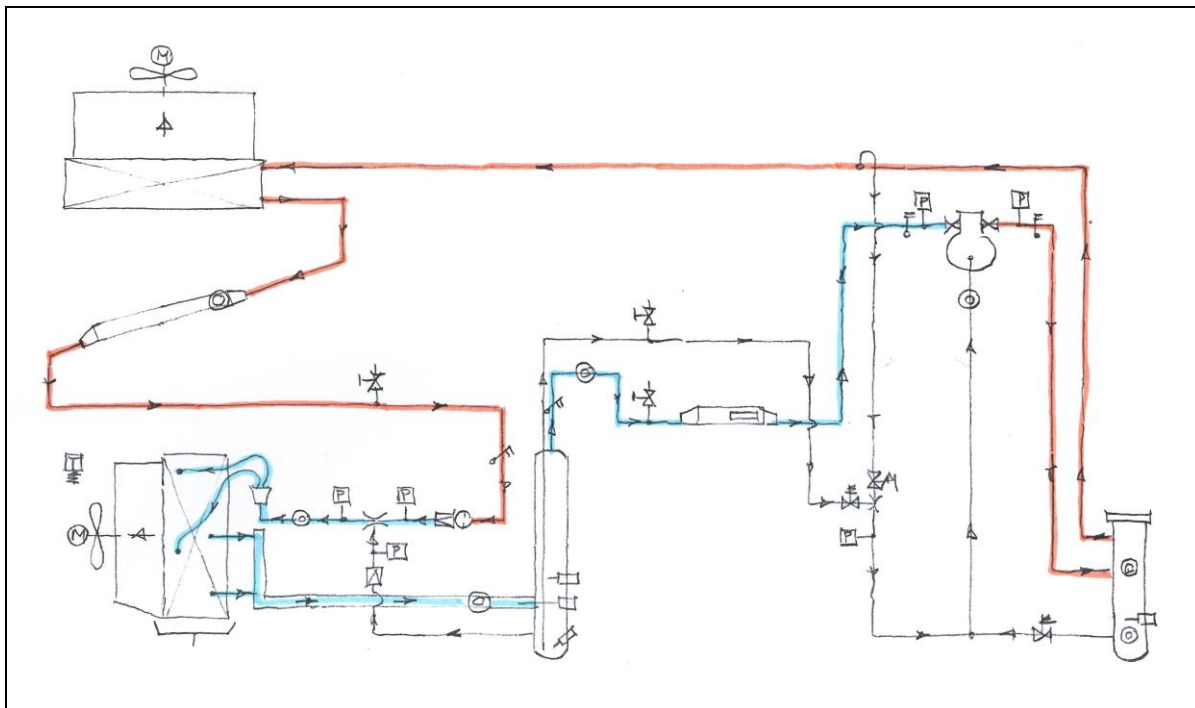
5.2.3 Fase 4: Laborietest - af sensor i fordampersystemer

Kort resumé:

Det var oprindelig planen at gennemføre et testprogram af sensoren under dynamiske forhold. Testarbejdet skulle dels gennemføres med demonstrations-anlægget, der blev fremstillet til udstilling ved Chillventa 2014, samt med en industriel fordamper til luftkøling og med en industriel fordamper for væskekøling koblet til et ammoniakanlæg ved Teknologisk Institut i Aarhus. Af forskellige årsager endte det ud med alene at foretage tests med Chillventa-anlægget.

5.2.3.1 Demonstrationsanlæg

Anlægsdesignet for Chillventa-anlægget var bygget op omkring idéen om at benytte en ejektor til at recirkulere overskudsvæske i sugesakkumulatoren tilbage til fordampeindløbet. Anlægget blev fremstillet iht. efterfølgende PI-diagram:



Indgående komponenter fremgå af efterfølgende skema:

Komponent	Specifikation
Kølemiddel	R717 (ammoniak)
Kompressor	HKT Hüber-Kälte-Technik GmbH: Goeldner – Öko-Motion X3 Type O 12 1 ...3 DK100
Olieudskiller	Temprite: 92OR Series
Styring af olieretur	HBOC sensor
Fordamper og væskefordeler	Thermofin Type TBL L-04-012-050-00800-A-V-G-025 050
Væsketilførselsventil	Carel-ventil EV1
Ejektor	HBP-ejektor
Styring af væsketilførsel	HBDX sensor rod-style
Kompressorbeskyttelse	HBDX sensor in-line
Kondensator	Thermofin TBB B-04-014-022-00700-A-V-G-012 050
Sugesakkumulator og sugegasveksler	HB Products A/S: Specialkonstruktion HBSEP ø1114 x 800 ...
Styring	HP Products eget specialdesign

Sensoren virkede efter hensigten, men det lykkedes desværre aldrig rigtig at få ejektoren til at levere tilstrækkeligt med "sugetryk" til at få recirkulationen til at virke – grundlæggende pga. stort trykfald gennem fordeleren og fordamperen. Er nærliggende løsning – som aldrig blev udført – er at udskifte ejektoren med en lille pumpe.



Figur 5-5: Fordampning af ammoniakvæske med varmepistol - og olie i bund af sugopot

Demonstrationsanlægget befinder sig i skrivende stund ved HB Products i Hasselager, og der har været forskellige overvejelser mht. at ombygge dele af anlægget for yderligere undersøgelser og tests.

5.2.4 Fase 5: Site test - af sensor indbygget i "rigtige anlæg" under virkelige forhold

Kort resumé:

I denne fase blev sensoren testet i et mindre antal udvalgte "rigtige" anlæg under "rigtige" driftsforhold i samarbejde med producenter og slutbrugere af udstyr og anlæg, hvor sensorens nye fordele og muligheder med fordel kunne udnyttes. Grundidéen var at etablere den nye sensorteknologi parallelt med den nuværende til direkte sammenligning, til samtidig sikring af driften for brugeren, samt til eftervisning af faktiske forbedringer i forhold til tidligere løsning.

Site-testene blev gennemført med køle-/frostanlæg hos Claus Sørensen i Vejle, med varmepumpeanlæg hos HB Products i Hasselager, samt med forskellige køleinstallationer i USA, Australien og flere europæiske lande.

5.2.4.1 Site test af industrielt køleanlæg ved Claus Sørensen A/S i Vejle

Køleanlægget til site test ved Claus Sørensen A/S i Vejle (Afdeling Vejle TVN) er beliggende ved motorvej E45 på adressen Kristian Skous Vej 1, 7100 Vejle. Afdelingen er den største enhed i Claus Sørensen A/S, som igen er en del af Claus Sørensen Gruppen.

Claus Sørensen A/S driver køle- og frysehuse, der ligger strategisk godt placeret i forhold til produktionen af danske fødevarer og i landets førende fiskerihavne. Den samlede kapacitet er på over 800.000 kubikmeter.



Figur 5-6: Rør til indfrysningstuneller på taget ved Claus Sørensen A/S i Vejle

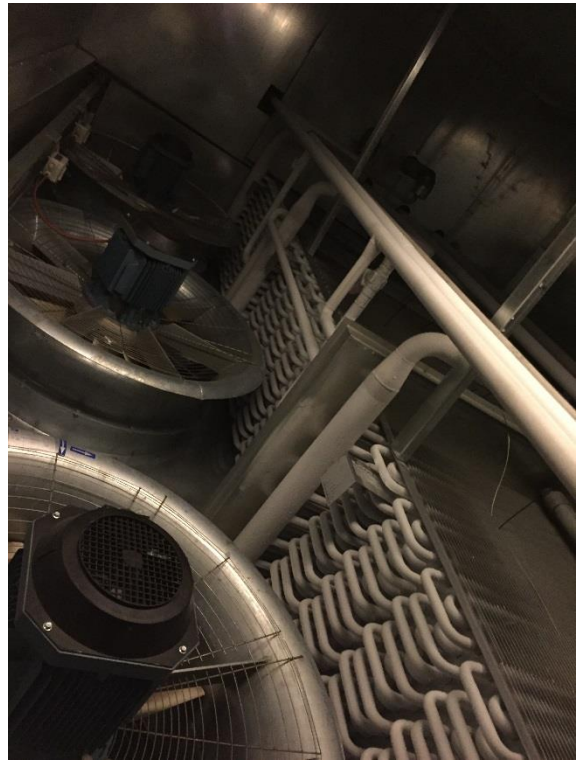
Afdelingen i Vejle udgør et knudepunkt for indfrysning og lagring af kød- og brødprodukter fra nogle af landets største fødevarerproducenter. Site-testen er udført på 2 af afdelingens indfrysningstuneller; tunnel 2 og tunnel 9.

Testene havde til formål at vise funktionsdygtigheden af HBDX sensoren i et virkeligt anlæg, belyse hvad den kan bruges til ved eftermontering i eksisterende anlæg, anvende som demo-anlæg f.eks. ved træning af HB Products forhandlere, samt til at fremstille underbyggende materiale til kommercialiseringen af produktet.

Sensorens signal målt efter udløbet fra fordampere bruges til at styre ventilerne, der leverer væske til indløbet af fordampere.

5.2.4.2 Test med tunnel 2

Der blev i oktober 2015 monteret én sensor i toppen af hver riser fra tunellens fordampere, der er monteret "i stak" på indfrysningstunnel nr. 2 - i alt fire sensorer. De 4 fordampere er af fabrikat Fincoil med samlet fordamperydelse på 166 kW ved fordampningstemperatur $\div 40^{\circ}\text{C}$ og temperatur af luft ud $\div 36^{\circ}\text{C}$ ved afslutning af indfrysning.



Figur 5-7: Indfrysningstunnel hos Claus Sørensen i Vejle set fra hver sin ende

På Figur 5-7 til venstre ses et billede af indfrysningstunnel 2. Billedet er taget fra lagerhallen ind i tunnelen. Her ses paller med varer, der skal indfryses. Pallerne er pakket om med mellem-lag for de enkelte lag, så indfrysningen sker hurtigere og mere jævnt. Indfrysningstunnelen er delt op i to lange rum med fordamperne siddende for enden af venstre kanal på billedet og blæserne siddende for enden af højre kanal. Luftstrømmen kommer fra blæserne i højre rum og ledes tilbage til fordamperne gennem venstre kanal.

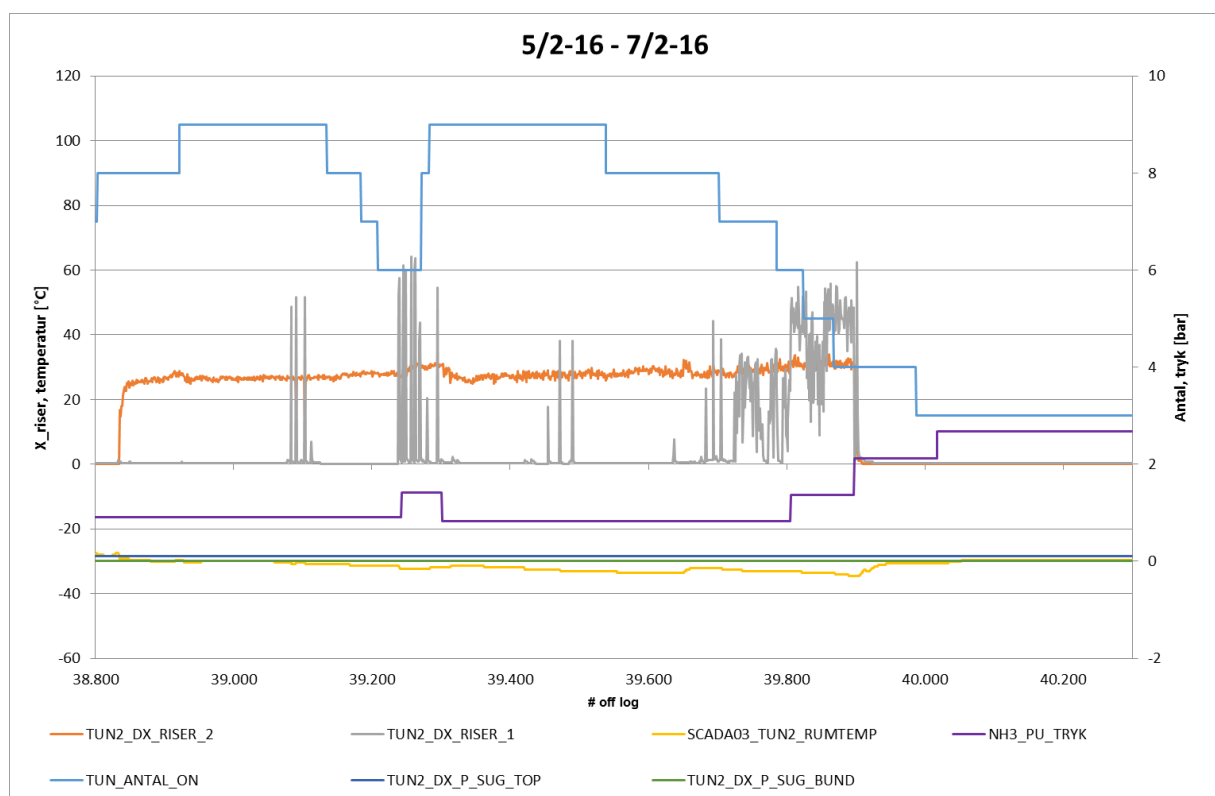
Figur 5-7 til højre er taget fra den anden ende af tunnelen. Til venstre på billedet ses blæserne, én for hver fordamper. Fordamperne ses til højre på billedet.

Ved besigtigelse af fordamper 1 i tunnel 2 kunne man på et tidligt tidspunkt direkte visuelt se, at der var noget galt med kølingen, som vist på efterfølgende billede:



Figur 5-8: Fordamper 1 i tunnel 2

På Figur 5-8 ses et billede af fordamper 1, hvor man i bunden af billedet kan se at fordamperen ikke yder fuldt ud, da der kun er lidt rimdannelse i bunden af coilen. På billedet kan man også se at afrimningen af fordamperen ikke fungerer optimalt, da der ligger klumper af is i bundbakken. Overordnet betragtet syntes der at være et eller andet, der blokerede fordamper 1, og der blev talt om flere mulige årsager til problemerne.



Figur 5-9: Indfrysingsforløb fra 5. - 7. februar 2016

Figur 5-9 viser et indfrysingsforløbet fra 5. - 7. februar 2016 med kurver for pumpetryk, tryk i toppen af riser 1 og tryk i bunden af riser 1. Pumpetrykket varierede igennem indfrysings-

forløbet og var højest i perioder med få indfrysningstunneller indkoblet, hvilket indikerede for lille pumpekapaцитet ved stor belastning.

5.2.4.3 Konklusioner for tunnel 2

Konklusionerne og erfaringerne med installation af HBDX-sensorerne i toppen af riserne på tunnel 2 kan sammenfattes således:

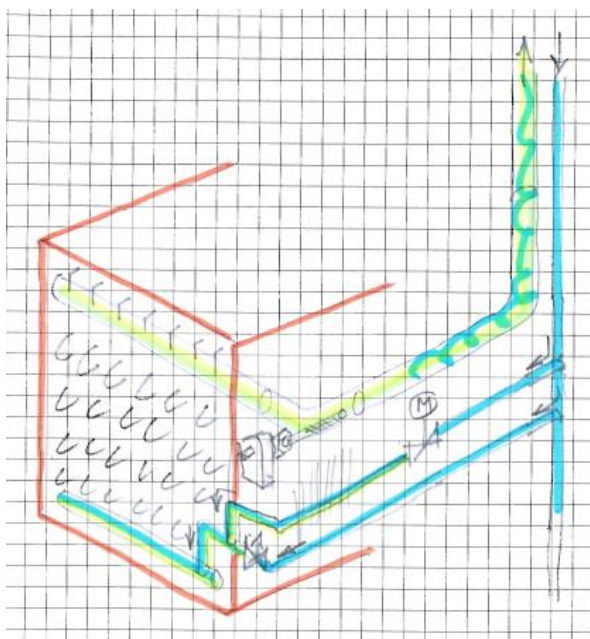
- Sensorerne registrerer, viser og afslører meget fint, hvad der foregår i toppen af riserne fra tunnelens fire fordampere.
- Signalet fra fordamper 1 viste klart, at denne fordamper med efterfølgende riser ikke virker, som den skal.
- Sensorerne virkede korrekt efter hensigten, men anlægsdesignet for tunnel 2 med 4 ens fordampere placeret "i stak" med forskellige løftehøjder i de efterfølgende risere viste sig uegnet til at kunne benytte et midlet sensorsignal til styring af fælles væsketilførselsventil.

På denne baggrund blev testarbejdet med tunnel 2 stoppet, og det blev besluttet at fortsætte testarbejde ved CS i Vejle ved at indbygge sensorer på en anden og forhåbentlig bedre måde på tunnel 9.

5.2.4.4 Test med tunnel 9

I maj 2017 blev der monteret sensorer ved udløbet af hver fordamper på indfrysningstunnel 9 – i alt 4 sensorer.

Efterfølgende skitse illustrerer set-up for hver fordamper, hvor X-sensoren er monteret i bunden af en 90°-bøjning i et vandret stykke før røret i en anden 90°-bøjning går over i det lodrette riser-rør:

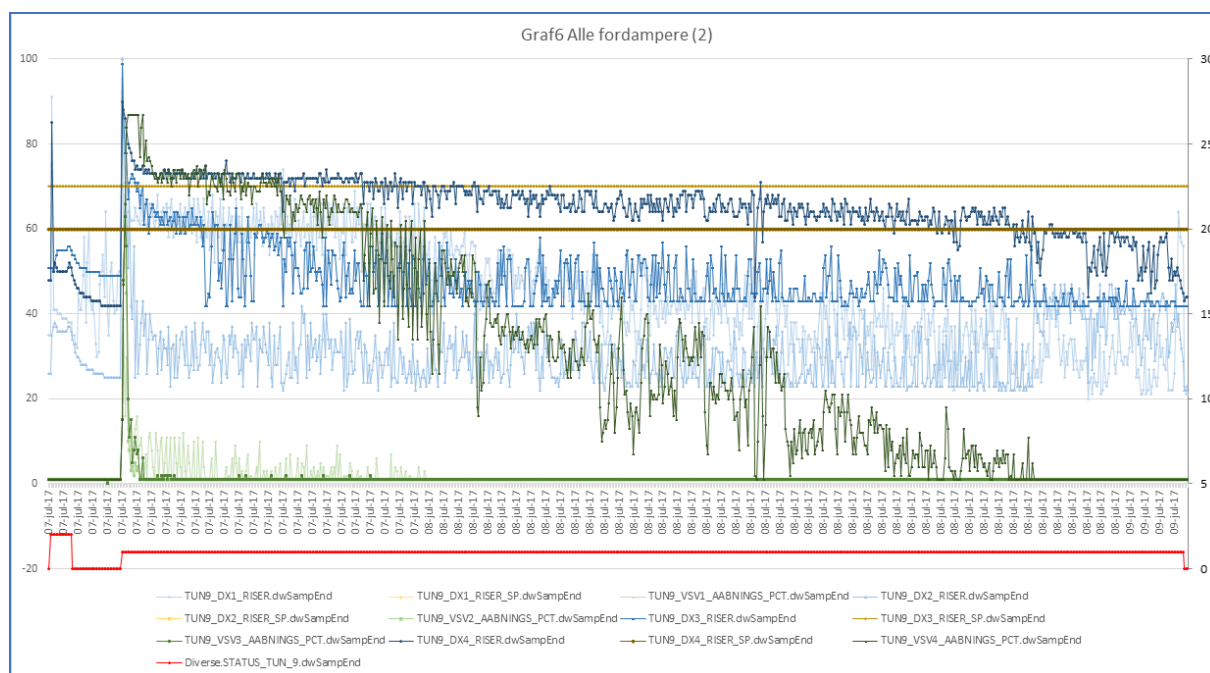


Figur 5-10: Set-up for test ved hver enkelt fordamper ved tunnel 9



Figur 5-11: Foto af sensorens placering på nederste fordampere ved tunnel 9

Efterfølgende graf er et eksempel på databehandlingen af ét af testforløbene.



Figur 5-12: Data fra tunnel 9 for drift 7-9/7 2017

Der blev gennemført flere tests med tunnel 9 i juni og juli 2017, hvorfra konklusioner og erfaringer med installation af HBDX-sensorerne tæt på udløbet fra fordampere og indsprøjtningsventilerne tæt på indløbet til fordampere kan sammenfattes således:

- Sensorerne virker tilsyneladende fint og afspejler hvad der sker på dét sted, hvor de er monteret.
- Tryktabet i riseren stiger til 2-5°C under drift, hvilket betyder, at anlæggets fordamnings-temperatur pga. riseren skal holdes tilsvarende lavt.
- X-værdierne aftager gennem forløbene. Så målte X-værdier falder i takt med reduceret køleydelse.
- Trykdifferensen mellem top og bund af riser1 stiger gennem forløbet. Så der ophobes mere og mere væske i riseren fra fordampere 1 i takt med faldende belastning – formodentlig primært fordi gashastigheden falder.
- Siemens-ventilerne med forskellige dysestørrelser har ikke kunnet arbejde hensigtsmæssigt, samtidig med at de parallelle REG-ventiler var åbne ¼ eller ½ omgang.
- Der er stor forskel på temperaturer af luft ind/ud af fordampere, så der er stor forskel på køleydelserne og afrimningerne af fordampere. Fordampere 1 i bunden yder mindst og fordampere 4 i toppen mest. Fordampere 1 nederst køler mindst og fordampere 4 i toppen køler

mest. Så anlægsdesignet for tunnel 9 – bl.a. med fordampere i stak med uens længde af risere - bevirker at kølingen er uens fra bund til top.

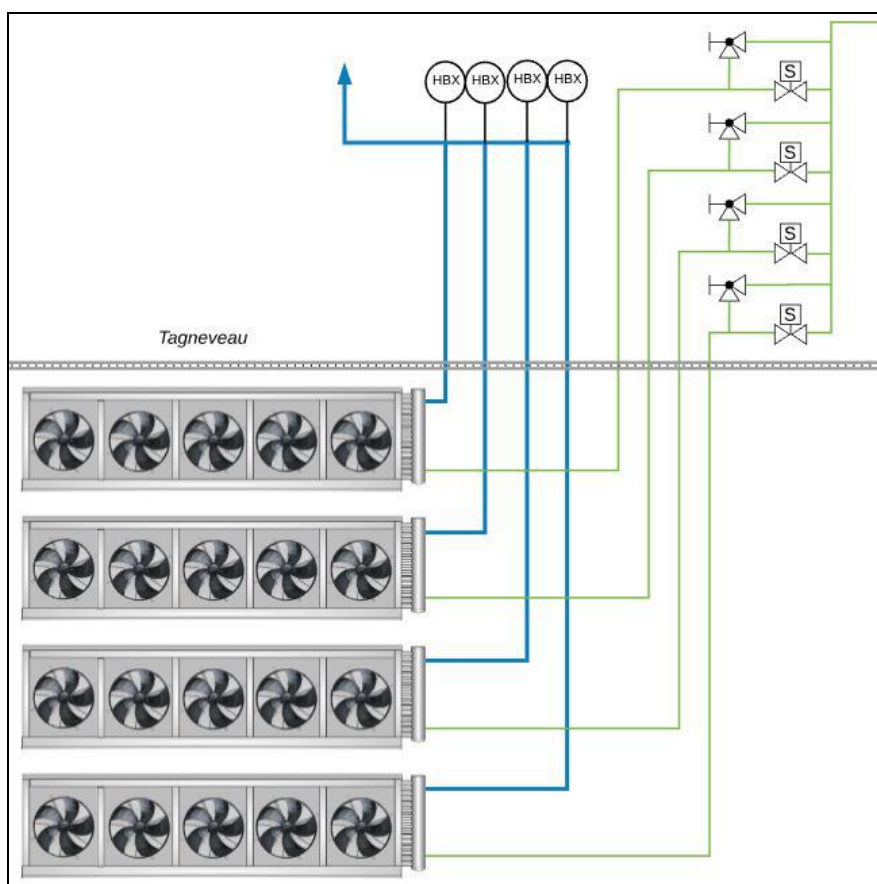
- Ændring i ventilatorfrekvens mellem 35 og 50 Hz har meget lille påvirkning.

5.2.4.5 Konklusioner for tunnel 9

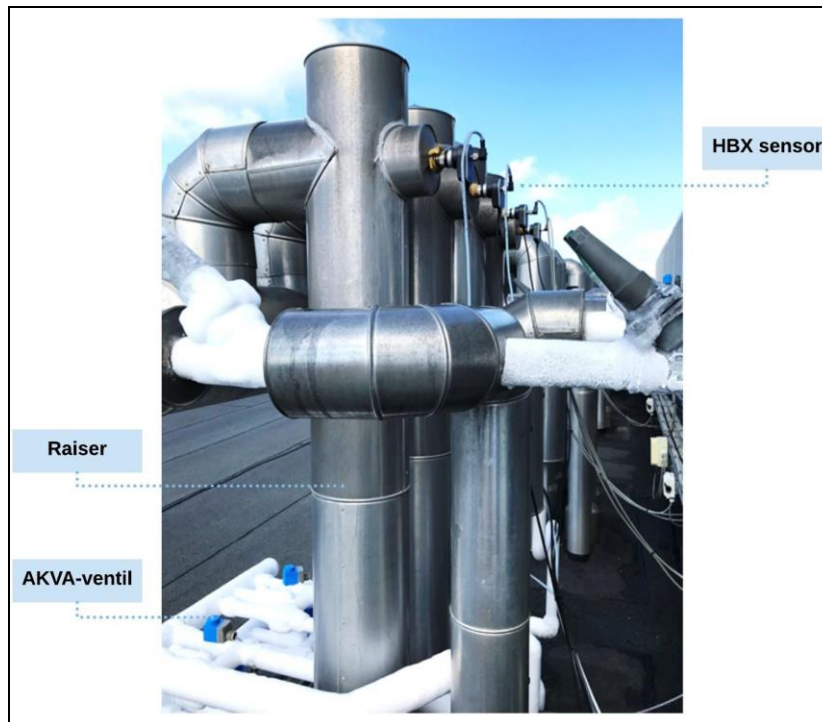
På baggrund af disse konklusioner og erfaringer, samt tanker og idéer om at "opstukket" væske på sensorpositionen pga. efterfølgende riser driller, at forskellig riser-højde er medvirkende årsag til problemer, samt at eksisterende fælles væsketilførsel er problematisk, blev det besluttet at gå tilbage til tunnel 2 og foretage ændringer på og yderligere test med denne.

5.2.4.6 Mere test med tunnel 2

I starten af 2018 blev der ændret på forholdene på tunnel 2 så hver fordamper fik egen væskeventil type Danfoss AKVA og separate væskerør monteret på taget af bygningen over tunnelen iht. efterfølgende illustration:



Figur 5-13: Ændret set-up ved tunnel 2



Figur 5-14: Ændring på taget for tunnel 2

5.2.4.7 Flere konklusioner for tunnel 2

Konklusionerne og erfaringerne fra driften med tunnel 2 efter ændringerne på installationen er sammenfattet således:

- Ved en manuel åbning af håndreguleringsventilerne ses tydelig sammenhæng mellem åbningsgraden og signalet fra HBX sensoren.
- AKVA-ventilerne fungerede ikke optimalt – formodentlig pga. varierende trykdifferenstryk over ventilerne forårsaget af ujævnt og lavt pumpetryk (og/eller variationer i trykforskel fra udløb AKVA-ventil til indløb fordampere eller fra pumper til tilgang AKVA-ventil).
- Ændringerne resulterede i bedre drift af tunnel 2, fordi den manuelle væsketilførsel var indstillet, så samtlige fordampere "sultede".
- For at opnå optimal drift skal dyserne i AKVA-ventilerne være større eller også skal pumpetrykket øges, for HBX-sensoren kan kun kontrollere væsketilførslen til en fordampere, hvis ventilerne har tilstrækkelig kapacitet.

5.2.4.8 Afsluttende bemærkning for alle udførte tests i Vejle

I skrivende stund må vi konstatere, at det ikke lykkedes at komme helt i mål med testarbejdet med sensorerne ved CS i Vejle inden projektets afslutning. Sensorerne fungerede stort set efter hensigten, styringen blev justeret undervejs, men anlægsforholdene viste sig at være særdeles vanskelige – men lærerige.

5.2.5 Site test af varmepumpeanlæg for HB Products i Hasselager

Der ligger følgende tanker og idéer bag systemopbygning og princip for varmepumpeanlægget til HB Products´ s fabrik på Bøgekildevej i Hasselager.

Primære kriterier

1. Varmepumpeinstallationen skal levere rumvarme til fabrikken på Bøgekildevej og skal derfor være meget driftssikker og til at servicere og vedligeholde gennem anlæggets forventede levetid uden at det bliver for dyrt og vanskeligt, fordi det bliver for meget "prototype-agtigt".
2. Varmepumpeinstallationen skal (be)vise, at void fraction sensoren kan bruges til at regulere væsketilførslen til DX-fordampere for luftkøling ved omgivelsestemperaturer fra $\div 5$ til $+20^{\circ}\text{C}$ i

systemer med HFC-kølemiddel – som alternativ til traditionel overhedningsstyring baseret på måling af tryk og temperatur i fordamperrødbet.

3. Varmepumpeinstallationen skal kunne benyttes som showcase til HB Products gæster og kunder og skal derfor opbygges i/på en 20 fods container på en måde, der muliggør fremvisning og demonstration af HB Products produkter.

Sekundære kriterier

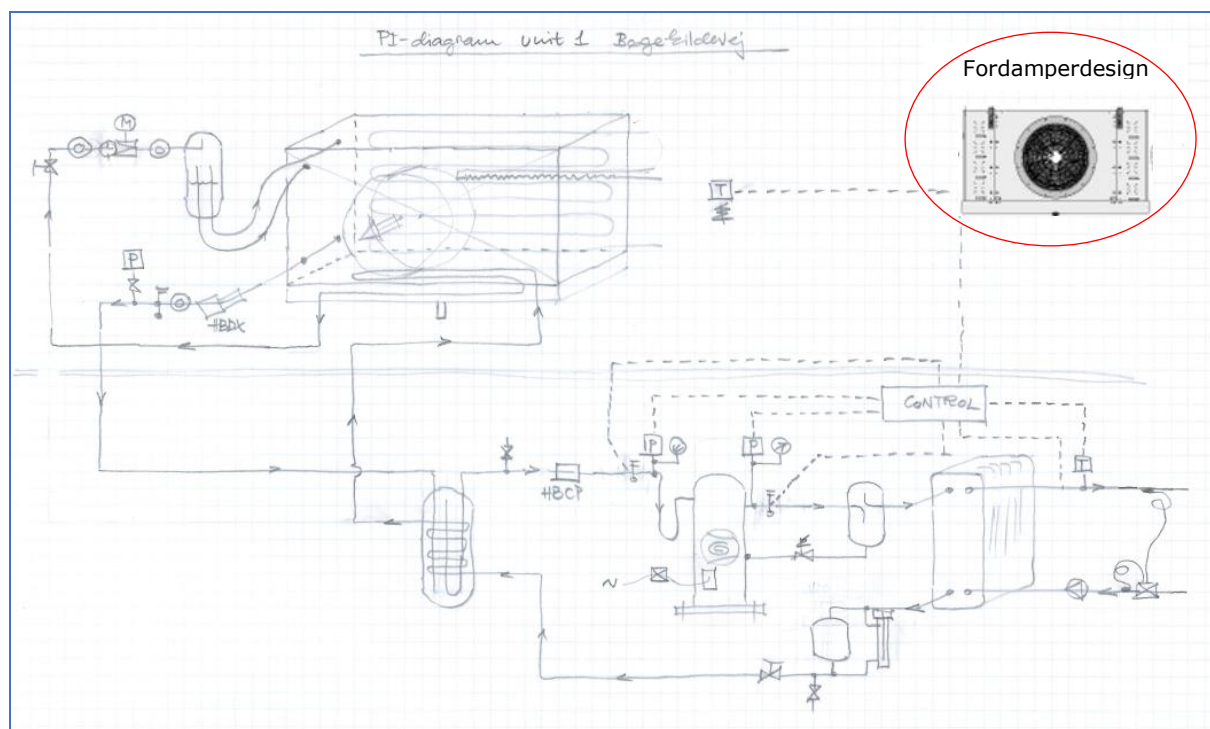
Varmepumpeinstallationen skal desuden teste at HBDF defrost sensoren kan styre afrimningen af fordampere, at HBCP compressor protection sensoren kan beskytte kompressorer, samt at HBCL liquid level sensoren kan overvåge kølemiddelfyldningen i anlægget

Der blev ikke lagt op til et omfattende testarbejde med varmepumpeinstallationen med data-logning og analyse. Der var tale om en funktionstest af void fraction sensoren og 2 andre HB Products sensortyper i 3 næsten ens luft/vand-varme-pumper, som alle benytter HFC-kølemiddel type R407C.

Anlægget er dimensioneret til at levere ca. 50 kW varme til fabrikken på Bøgekildevej ved udetemperatur ned til $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Anlægget er opbygget af 3 varmepumpeenheder med hvert sit uafhængige kølesystem baseret på HFC-kølemiddel – med under 10 kg kølemiddel i hvert system (af hensyn til dansk lovgivning) – bl.a. for at give stor driftssikkerhed.

Det viste sig, at fremskaffelsen af 3 forskellige fordampere til udendørs opstilling var et uventet stort og særdeles tidskrævende problem.

5.2.5.1 Systemdesign for Unit #1



Figur 5-15: PI-diagram for varmepumpeunit #1

Komponent	Specifikation
Kølemiddel	R407C (det mest energieffektive kølemiddel)
Fordamper og væskefordeler	Küba type SGAE 50-F61 A (V6.01 + V1.33) (side feed, 10 mm fordamperrør, Küba væskefordeler, 4,5 mm finneafstand, elektrisk afrimning)
Væsketilførselsventil	Carell-ventil
Styring af væsketilførsel	HBX Vapor Quality Sensor (HB styring af Carell-ventil)

	med signal fra HBX-sensor) samt måling af overhedning (tryk og temperatur) placeret i fordamperudløbet. (Carell styring af Carell-ventil med signal fra overhedningsmåling)
Styring af afrimning	HBDF-sensor (HB styring af elektrisk varmestav med signal fra HBDF-sensor)
Kompressor	(Mitsubishi) Siam Compressor Industry Co Ltd med inverter for drift mellem 20 og 120 Hz
Kondensator	Alfa Laval pladevarmeveksler
Receiver	Anden udgave end SVK´s normalt anvendte receiver – for at kunne installere en HBLC-sensor i den til overvågning af kølemiddelfyldningen
Sugeakkumulator og sugegaseksler	Standard produkt (ahlsell)

Systemdesign for Unit #2

Komponent	Specifikation
Fordamper og væskefordeler	Fordamper og væskefordeler: Traditionel fordamper til luftkøling fabrikat Güntner (side feed, traditionel væskefordeler, elektrisk afrimning)
Andre komponenter	Samme som for unit #1

Systemdesign for Unit #3

Komponent	Specifikation
Fordamper og væskefordeler	Fabrikat LuVe af anden type end de to andre units (top feed ...)
4-vejsventil	For reversibel drift under afrimning
Andre komponenter	Samme som for unit #1

Varmepumperne er installeret af SVK Energi i og på en 20´ container, som er opstillet ved én af gavlene på fabriksbygningen. De 3 varmpumpeunits er placeret inde i containeren og fordampere er placeret ovenpå.



Figur 5-16: Varmepumperne inde i containeren



Figur 5-17: Fordamperne på toppen af containeren

Varmepumpeinstallationen blev først startet op i begyndelsen af 2018 og det forløb desværre ikke helt smertefrit, idet der skete flere kompressorhavarier.

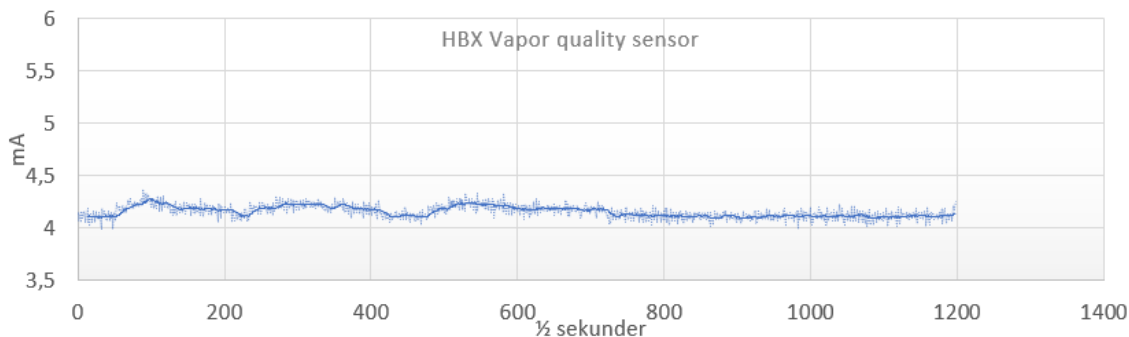
Der er arbejdet på at minimere årsagerne til kompressorhavarierne ved; 1. at sikre en vis minimumshastighed i sugesiderørsystemet, 2. at undgå skæv væskefordeling i fordamperrør, 3. at fjerne oliereturrestriktioner i sugesideakkumulator, samt 4. at fjerne oliereturrestriktioner i HBCP-sensor.

I skrivende stund er det dejligt varmt sommervejr uden behov for tilførsel af rumvarme i bygningen, så det er derfor ikke muligt at teste effekten af ændringerne før engang i efteråret.

Hensigten med forsøgs- og testprogrammet er at teste og dokumentere HB Products A/S' void fraction sensorers egenskaber og funktionalitet i 3 varmepumpeunits med R407C – til sammenligning med traditionel styring ud fra måling af kølemidlets tryk og temperatur efter fordampnerudløbet.

Forsøgs- og testprogrammet skal desuden teste, at HBDF defrost-sensoren kan styre afrimningen af fordampere, at HBCP compressor protection-sensoren kan beskytte kompressorer, samt at HBLC liquid control-sensoren kan overvåge kølemiddelfyldningen.

I skrivende stund har HB Products udført adskillige forsøg og tests på varmepumpeanlægget – bl.a. som et Bachelor-projekt udført af Martin Koudal Fisker ved Aarhus Maskinmesterskole, hvorfra flg. dele af projektrapporten er uddraget:



Figur 5-18: Udgangssignalet fra HBX-sensoren

“Det kan konkluderes, at der ved brug af HBX vapor quality sensoren er en øget COP-faktor med 6,3%, hvilket stemmer overens med den teoretiske undersøgelse af forbedringen af COP-faktoren på 6,25%”

“HBX vapor quality sensoren er derfor en bedre styring til regulering af væskeindsprøjtningen i fordampere ved en lav overhedning”

“Konklusion:

I opgaven er det blevet undersøgt, hvilke driftsmæssige ændringer, der vil forekomme ved regulering af væskeindsprøjtning i fordampere, ved brug af HB Products’ HBX vapor quality-sensor kontra den traditionelle overhedningsstyring: Carel EVD evolution.

Rapporten vurderer, at HBX vapor quality sensoren-fungerer, som en udmærket substitut for overhedningsstyringen.”

5.2.5.2 Afsluttende bemærkning for varmepumperne

Selv om test- og forsøgsarbejdet på varmepumperne i skrivende stund ikke er blevet færdiggjort kan man konkludere, at alle sensorerne (HBX Vapor Quality Sensor, HBCP Compressor Protection Sensor og HBLC Liquid Control Sensor) også fungerer tilfredsstillende med HFC-kølemidlet R407C.

5.2.6 Site test af anlæg i Australien og USA

Sideløbende med projektet har HB Products løbende været i kontakt med virksomheder, som har vist større eller mindre interesse for sensoren og dens anvendelse. Nogle af disse virksomheder har fået β -test-versioner eller købt færdigudviklede sensorer og bygget dem ind i anlæg og fået erfaringer med dem.

Stefan Søby Jensen fra Scantec Refrigeration Technologies Pty Ltd i Australien har gennem en årrække interesseret sig for sensoren og har bygget den ind i flere anlæg og høstet gode erfaringer med den. Michael Elstrøm besøgte Stefan i Australien i september 2015 og fik der lejlighed til besøge et af anlæggene i Australien

Scantec Refrigeration Technologies Pty Ltd har bl.a. indbygget sensoren på flg. anlæg:

- Laverton og Marsden Park (Swire Cold Storage Pty Ltd)
- Projekt i Townsville
- Bibra Lake WA og Truganina (Vic).

Stefan deltager ofte i internationale kølekonferencer og har ved flere lejligheder de seneste år omtalt og præsenteret resultater og erfaringer med sensoren på disse konferencer.

Bruce I. Nelson fra Colmac Coil Manufacturing Inc. i USA er én af pionererne indenfor "low-charge-ammonia-systems", og han har udgivet sin egen designmanual for sådanne anlæg "DX Ammonia Piping Handbook". Han har også gennem en årrække interesseret sig for sensoren og har integreret sensoren i flere produkter og høstet gode erfaringer med den.

Bruce deltager ofte i internationale kølekonferencer og har ved flere lejligheder de seneste år ligesom Stefan omtalt og præsenteret resultater og erfaringer med sensoren på disse konferencer.

5.3 Formidling af projektets resultater

Projektets videnformidling var bygget op omkring følgende delaktivitet, som efterfølgende er beskrevet:

- Fase 7: Videnformidling

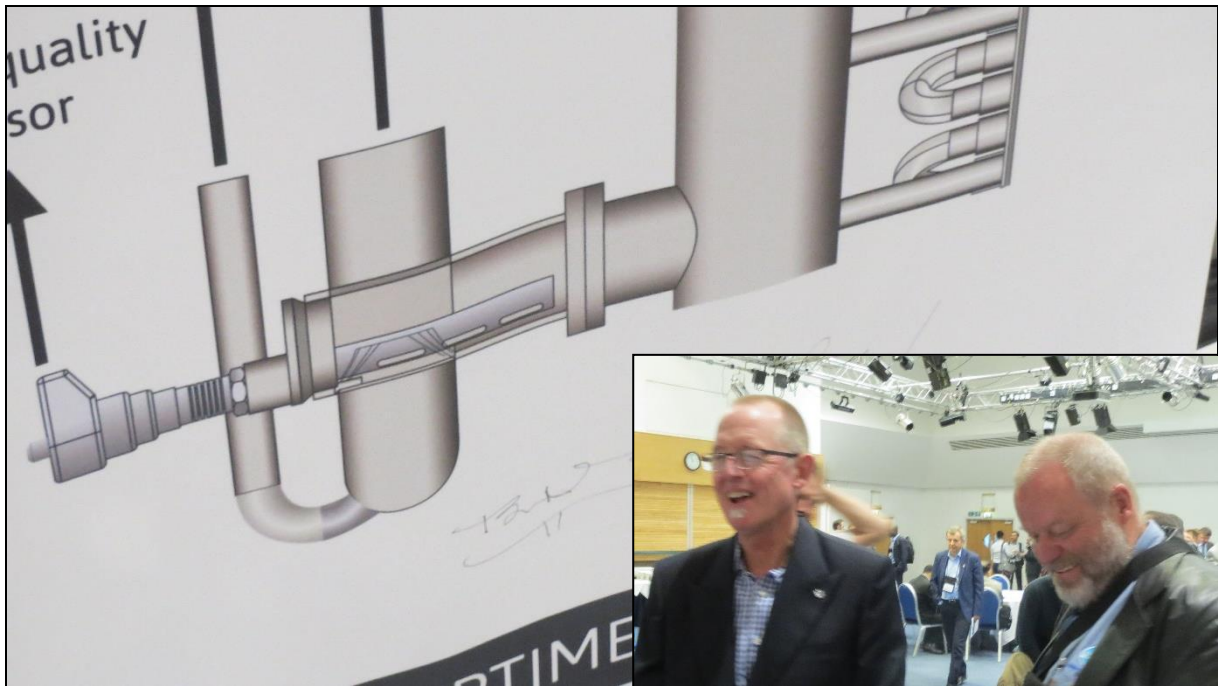
5.3.1 Fase 7: Videnformidling

Der blev ved projektets start udsendt en pressemeddelelse om projektet, lige som der har været artikler i flere fagblade om sensoren. Michael Elstrøm har sammen med Stefan Søby Jensen skrevet en artikel "Low Charge Ammonia DX System Controlled by HBX Vapor Quality Sensors" artiklen har været publiceret i bladet Kulde og varmepumper.

Sensoren er blevet omtalt og præsenteret på flere internationale konferencer; Gustav Lorentzen konferencen GL2016 i Edinburgh i 2016, Gustav Lorentzen konference i Valencia i 2018 og IIAR's årlige konference og udstilling i San Antonio i 2017

HB Products A/S havde en stand om sensoren og firmaets andre produkter på "12th IIR Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference", som blev afviklet i Edinburgh, Skotland, UK, 21.-24. August 2016. Jesper K. Nielsen fra HB Products A/S med titlen "Director Sales & Marketing" var til stede på standen under hele konferencen, hvor han konstaterede at interessen for sensoren var relativt stor.

Både Stefan Søby Jensen, Scantec og Bruce Nelson, Colmac Coil deltog i konferencen og de signerede i fællesskab posteren, som viste deres måde at installere sensoren på – som vist på efterfølgende foto.



Figur 5-19: Udsnit af planchen, samt Bruce Nelson og Stefan Jensen ved standen

HB Products A/S præsenterede et paper på "2017 IIAR Natural Refrigeration Conference & Heavy Equipment Expo", som fandt sted i San Antonio, Texas, USA i perioden 26. februar – 1. marts 2017. Både Jesper K. Nielsen og Michael Elstrøm deltog i konferencen, hvor Michael Elstrøm selv foretog præsentationen af paper'et om den nye metode til måling af quality (void fraction) og behovsstyret afrimning. Præsentationen blev givet 2 gange og havde en usædvanlig fin placering i programmet, og havde i øvrigt fået nummeret #1, som også signalerede stor interesse fra arrangørernes side.

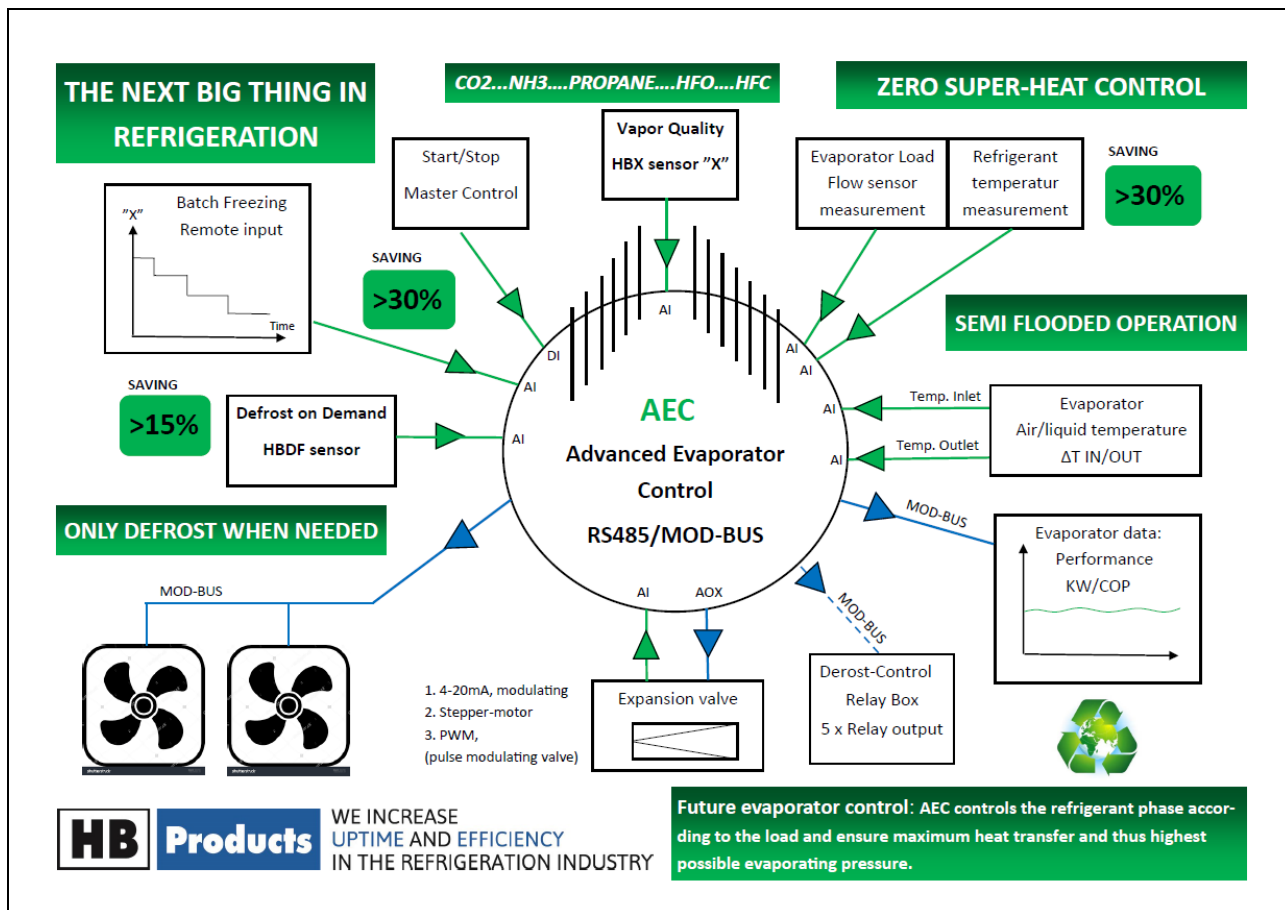
Michael Elstrøm har desuden holdt indlæg om sensoren ved arrangementer i Finland og Tyskland.

6. Udnyttelse af projektresultater

Som allerede nævnt udnytter HB Products A/S allerede de opnåede projektresultater kommercielt gennem salg, rådgivning og uddannelse i HBX-sensoren.

- Erfaringer fra projektet vil blive udnyttet til videre udvikling af teknologien, teknologien har potentiale til at ændre måden man designer, styrer og regulerer alle typer køle/varmepumpe systemer.
- Markedsføring og salg er prioriteret højt. Der er udarbejdet nyt produkt katalog, opdateret hjemmeside og kommende Chillventa messe fokuserer 60% på HBX sensor teknologien.
- Forretningsplan er udarbejdet og opdateret.

Hvilken fremtidig kontekst er slutresultatet, at det forventes at teknologien vil være "THE NEXT BIG THING IN REFRIGERATION" som en del af et komplet avanceret fordampers kontrolsystem "AEC". HBX (Vapor Quality Sensor) er grundstenen hvor der kan tilsluttes eksempelvis en flow sensor og defrost sensor for yderligere optimering. Der er udtaget nyt patent som supplement til eksisterende patent.



Figur 6-1: Planche om AEC Advanced Evaporator Control

I forbindelse med projektet er der udviklet en egentlig forretningsplan for HBX-sensoren (læs nærmere afs. 6.2).

6.1 Markedsføring

HBX-sensoren er gennem projektet blevet omtalt på konferencer, papers og nyhedsbreve – og en præsentation af sensoren ligger på HB Products web-side, hvor Michael Elstrøm, HB Products og Svann Ole Kjøller Hansen, TI fortæller om sensoren og dens egenskaber.

Se: <https://www.hbproducts.dk/da/videoer.html>

Sensoren præsenteres nu til salg på HB Products web-side, hvor der bl.a. ligger en brochure om sensoren.

Se: <https://www.hbproducts.dk/da/brochurer/8-hbx-uk/file.html>

6.2 Forretningsplan

I 2017 blev der udviklet en egentlig forretningsplan for HBX-sensoren – og denne er opdateret i 2018. Forretningsplanen beskriver udover HB Products mission og visioner følgende:

- Nyhedsværdi og Value proposition
- Kundesegmenter
- Salgsstrategi/go to market
- Potentialer
- Konklusion

Det fremgår heraf, at HBX-sensoren har en global nyhedsværdi, da der ikke findes tilsvarende på markedet. Og at der allerede er eksempler på dens anvendelse i nye køleanlæg i bl.a. Australien, Frankrig, Holland, USA og Holland.

Desuden fremgår det, at HBX-sensoren har en lang række fordele:

- Større sikkerhed for at køleanlægget holder korrekt lav temperatur, hvilket sikrer værdien af varer i kølehuset.
- Optimering og bedre fordampere-styring gennem minimering af trykfald og muliggørelse af low charge ammoniak DX-systemer (min. kølemiddelfyldning i anlægget), og dermed opnåelse af energibesparelse og forøget person og anlægs-sikkerhed pga. reduceret fyldning af kølemiddel.
- Gør det muligt at undgå store tryktab i lodrette sugerør/risere.
- Giver mulighed for øget anvendelse af naturlige kølemidler og en reduktion af GWP.
- Kan gøre køleanlæg mindre og dermed mere konkurrencedygtige.

Endelig fremgår det, at kundesegmenterne er køle- og varmepumpeproducenter til både industriel og kommerciel køl (supermarked segmentet) og at sensoren er anvendelig ved nye anlæg og ved opgradering/optimering af bestående anlæg.

Kundegrupperne omfatter eksisterende kundegrupper inden for industrielt køl, f.eks. fryselagre, kølelagre, fødevarerproduktion (slagtere, mejerier, bagerier, fastfood produktion), medico m.v. Men også nye kundegrupper inden for kommerciel køl, fx supermarkeder og lagre, evt. transportkøl fx kølelastbiler og -containere og producenter af fordampere og fryserne.

6.3 Patenter

Der er indsendt ny patentansøgning som supplement til eksisterende patent.

7. Projekt konklusion og perspektiv

7.1 Projektkonklusion

Formålet med projektet var at afprøve sensorteknologien på forskellige kølesystemer og løbende udvikle/tilpasse sensoren hertil. Laboratorietesten på TI og fieldtesten hos Claus Sørensen A/S, Vejle viste, at sensortype, placeringen og efterfølgende rørføring er meget kritisk.

Sensordesignet er derfor optimeret og leveres nu i specielle versioner afhængig af systemdesign. Sensorteknologien er således udviklet til salgbare produkter, - varianter og bestillingskoder kan ses på HB Products hjemmeside.

Projektets gennemførelse har vist, at kølesystemer er meget komplekse, og at optimering med sensoren er meget systemafhængig og derfor ofte kræver flere nye tilpasninger for at opnå det ønskede resultat.

7.2 Forventet udnyttelse af projektresultaterne

Som allerede angivet i projektansøgningen er der gode muligheder og stort potentiale for udnyttelse af sensorteknologien:

Bedre fordamperestyring

Teknologien muliggør en alternativ styring og bedre regulering af fordampere og DX-anlæg med NH₃. Det forventes at teknologien vil være "THE NEXT BIG THING IN REFRIGERATION" som en del af et komplet avanceret fordampere kontrolsystem "AEC", HBX (Vapor Quality Sensor) er hovedkomponenten hvor der kan tilsluttes eksempelvis en flow sensor og defrost sensor for yderligere optimering.

Reduktion af energiforbrug

Teknologien gør det muligt at fjerne våde returrør, at minimere trykfald mellem fordamper og kompressor, at minimere tryktab i lodrette våde returrør (såkaldte "risere"), at hæve fordampetryk.

Der anslås energimæssige forbedringspotentialer på 10-25%

Større sikkerhed

Teknologien åbner mulighed for at etablere ammoniak anlæg med større sikkerhed og mindre risiko gennem sikring mod væskeslag i kompressorer og reduktion af kølemiddelfyldningsmængde til Low charge DX-systemer (min. kølemiddelfyldning i anlægget/pumpecirkulationen) Det anslås at ammoniakfyldninger kan nedbringes med mere end 50%.

Billigere ammoniak anlæg

Teknologien muliggør en væsentlig simplere og enklere anlægsopbygning og -konstruktion, større fleksibilitet i rørføring, mindre rørstørrelser for væske og sugerør, ingen våde returledninger, samt formindske størrelse af eller helt undgåelse af separatorer.

Det anslås at der kan opnås en reduktion af omkostninger til opbygning og installation på op til ca. 50%

Mindre miljøbelastning

Teknologien åbner mulighed for øget anvendelse af naturlige kølemidler – til erstatning for miljøproblematisk HFC-fyldninger.

Vækst og beskæftigelse

Teknologien muliggør udnyttelse og udvikling af danske energiteknologiske erhvervspotentialer med produktion i Danmark og eksport til udlandet.

HB Products A/S anslår potentiale for øget beskæftigelsen med 10 - 20 medarbejdere.

HB Products har jf. forretningsplanen store forventninger til HBX-sensoren og dens globale udbredelse i de kommende år. Den udgør en af ny grundstamme af sensorer, som forventes at medføre mere end en fordobling HB Products omsætning frem til 2023/24.

8. Bilag

8.1 Relevante links

HB Products A/S 's hjemmeside:

<https://www.hbproducts.dk/en/products/hbx-sensors.html>

Teknologisk Institut 's hjemmeside:

<https://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-nyt-sensorprincip-til-koelesystemer/35340>

EUDP 's hjemmeside:

<https://ens.dk/ansvarsomraader/forskning-udvikling/eudp>