Slutrapport

Fingeraftryk for forebyggende vedligehold og energioptimering i restaurationsbranchen.

Udviklingsprojekt støttet af ELFORSK (nr. 350-039)

TEKNOLOGISK INSTITUT

Version 1

Slutrapport

i ELFORSK-projektet 'Fingeraftryk for forebyggende vedligehold og energioptimering i restaurationsbranchen'.

Udarbejdet af
Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup
Køle- og Varmepumpeteknik

Udarbejdet i samarbejde med
Eupry
Flexmeter
AK-centralen
Københavns Kommune

TEKNOLOGISK INSTITUT

Version 1 - Marts 2020

Indholdsfortegnelse

1. Resume 5
2. Summary 6
3. Introduktion 7
4. Formål 7
5. Funktionsbeskrivelse 10
6. Metode 12
6.1. Datahøst 12
6.1.1. Indledende data – Datasæt 0 12
6.1.2. Ny data – datasæt 1 – 4 15
7. Opnåede resultater og diskussion 19
7.1. Softwarealgoritmer 20
7.1.1. Sammenhæng med Euprys overvågningsplatform 21
7.2. Fingeraftrykskatalog 22
7.2.1. Lav reservekapacitet 22
7.2.2. Forringet effektivitet – indedel 23
7.2.3. Forringet effektivitet – udedel 24
7.2.4. Stor fugtbelastning 24
7.3. Brugeroplevelse / brugererfaring 25
7.4. Kommercialisering – anvendelse af resultaterne 25
7.4.1. Eupry 26
7.4.2. Flexmeter 26
7.4.3. AK-centralen 27
7.5. Effekten af resultaterne – proof of concept 27
7.6. Udbredelse af resultaterne 31
8. Perspektivering 31
9. Konklusion 32
10. Bilag 33
10.1. Katalog med identificerede fingeraftryk 33
10.1.1. Driftsstop køleanlæg 34

10.1.2. Lav reservekapacitet 36
10.1.3. Lang døråbning 38
10.1.4. Forkert termostatindstilling eller for høj temperatur 40
10.1.5. Unødigt mange døråbninger 42
10.1.6. Forringet effektivitet – køleanlæggets indedel 44
10.1.7. Uhensigtsmæssig afrimning 46
10.1.8. Problematik – Køleanlæggets udedel 48
10.1.9. Dør åben eller på klem 50
10.1.10. Stor fugtbelastning 52
10.2. Interviewskema 54

1. Resume

I nærværende projekt var formålet at udvikle en udvidet overvågning af restaurationsbranchens walk-in køle-/fryserum, der realiserer potentialer indenfor energibesparelser, adfærdsregulering, proaktivt vedligehold, fødevarekvalitet, reduktion af madspild samt bedre arbejdsmiljø. Ideen er, at en udvidet overvågningsenhed genkender bestemte uhensigtsmæssige hændelser/forløb/profiler i data opsamlet fra køleanlægget (kaldet fingeraftryk), og detekteringen af fingeraftrykket afføder en indregulering, handling eller ændret adfærd.

I dette projekt er store mængder data fra walk-in køle-/fryserum analyseret og ineffektiv samt uhensigtsmæssig drift af køleanlæggene er afdækket. I løbet af projektperioden er der blevet udviklet en første og simpel version af det software, som tænkes indlæst i den udvidede overvågning. Den simple version kan finde og markere døråbninger i temperaturdata (som er meget signifikante for kølerums drift og energiforbrug) og vurdere køleanlæggenes belastningsgrad. Denne funktionalitet giver mulighed for at beregne nøgletal for køleanlæggets drift og energieffektivitet. Disse nøgletal kan sendes til brugeren/ejeren, som derved kan sikre at udstyret driftes energieffektivt og at hensigtsmæssig adfærd fastholdes.

I projektet er det belyst, at konceptet virker og at den simple software kan realisere energibesparelser svarende til 22% af det samlede energiforbrug, som bruges af køl og frys i den danske restaurationsbranche. Dette er under forudsætning af, at det implementeres fuldt ud i hele branchen. Det svarer til en besparelse på lige knap 30 GWh pr. år.

Projektet afsluttes i andet halvår af 2021.

2. Summary

The aim of the project is to develop an enhanced monitoring of walk-in chilled storages in the catering industry, which utilizes the potentials within energy savings, control of behavior, predictive maintenance, food quality, and reduction of food-waste as well as improved work environment. The enhanced monitoring recognizes events/signatures/profiles in the collected data from the refrigeration system (i.e. fingerprints), and the detected fingerprint causes an adjustment, human interaction or changed behavior.

In this project, a large amount of data from walk-in chilled storages have been analyzed, and inefficient as well as inappropriate operation of the refrigeration systems have been uncovered. During the project period, a first and simple version of the software has been developed, which is expected to be loaded into the enhanced monitoring. This simple version can detect and pinpoint door openings in temperature data (which are very important for the refrigeration room efficiency and the energy consumption). Furthermore, it can assess the load of the refrigeration system.
This functionality makes it possible to calculate key indicators for the operation of the refrigeration system as well as the energy efficiency. These key indicators can be sent to the user / owner, who can thereby ensure that the equipment is operated energy efficiently, and that this behavior is maintained.

In the project, it has been proven that this concept works and that this simple software can utilize energy savings corresponding to 22 % of the total energy consumption used by refrigeration and freezing systems in the Danish catering industry. This is provided by the fact that it will be fully implemented throughout the industry. In total, this is a saving of just under 30 GWh per year.

The project will be completed in the second half of 2021.

3. Introduktion

Denne rapport udgør slutrapporten vedrørende ELFORSK-projekt nr. 350-039 med navnet *Fingeraftryk for forebyggende vedligehold og energioptimering i restaurationsbranchen* – i det følgende omtalt som "projektet".

Projektets formål var på baggrund af el-, temperatur- og brugsdata fra køleanlæg i restaurationsbranchen at detektere gemte potentialer i form af mulige energisparetiltag, behov for proaktivt vedligehold samt adfærdsregulering. En stor mængde data er analyseret med henblik på at finde generiske "fingeraftryk", der kan indbygges i en udvidet overvågning af køleanlæg – i første omgang i walk-in køle-/frostrum i restaurationsbranchen. Projektets resultater skal understøtte aktiveringen af energisparepotentialer, der er svært tilgængelige i en branche, hvor energibesparelser ikke prioriteres højt. En aktivering, der foruden en miljømæssig / økonomisk gevinst også understøtter forhøjet fødevarekvalitet, reduktion af madspild og bedre arbejdsmiljø.

Et fingeraftryk defineres som en hændelse, et forløb eller en ændret profil, som af en automatisk overvågning spores i opsamlet måledata. Ideen var, at fingeraftrykket afføder information til den ansvarshavende om behov for proaktivt vedligehold, adfærdsregulering, mulige energibesparelser eller en advarsel om et muligt havari under opsejling. Sammen med denne information gives pragmatisk information vedrørende løsningsforslag eller anbefalede handlinger.

Projektgruppen består af Teknologisk Institut, Flexmeter / R&M-el, Eupry, AK-centralen og Københavns Kommune.

4. Formål

København har udfordringer med at nå delmålet i klimaplanen om at reducere elforbruget hos kommunens ca. 13.000 handels- og servicevirksomheder med 20 % i 2025. Restaurationsbranchen står for ca. 10 % af handels- og servicevirksomhedernes samlede elforbrug. Samtidig har Energistyrelsens Energisparesekretariat i "Kortlægning af energisparpotentialer i erhvervslivet, 2015" vurderet, at der er et stort potentiale for energibesparelser på køl/frys. Besparelserne vurderes at være op til 25 % med en tilbagebetalingstid på to år. De 25 % dækker over følgende fem områder med lige stor vægtning:

- Reduceret kølebehov
- Optimering af anlægseffektivitet
- Styring / regulering
- Vedligehold
- Adfærd.

Igennem projektet "Mobile online målinger af elforbrug i restaurantbranchen" har R&M El i samarbejde med Københavns Kommune set energibesparelser på op mod 24 % ved blot at se på adfærdsregulering. Det vil sige, at det potentielt er muligt at reducere restaurationsbranchens energiforbrug med op til 44 % inden for køl/frys. En høj reduktion af energiforbruget, som er opnået, inden en målrettet indsats har fundet sted i de resterende fire områder. Restaurationsbranchen brugte i 2012 469 TJ til køl/frys, hvilket svarer til 9 % af branchens samlede energiforbrug på 5.359 TJ (Energistyrelsens "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder"). Hvis hele besparelsespotentialet realiseres, svarer det til en årlig elbesparelse på 206,4 TJ (57,3 GWh/år).

Ved at anvende den udvidede overvågning, der er udviklet i nærværende projekt, er det vurderet muligt at indfri besparelsespotentialer på alle de fem områder, der er nævnt i "Kortlægning af Energisparepotentialer i erhvervslivet", samt at halvdelen af de nævnte besparelsespotentialer kan realiseres, hvilket svarer til en årlig besparelse på 28,6 GWh.

Projektet tager afsæt i restaurationsbranchen som et oplagt branchesegment til at udvikle teknologien i. Projektets resultater vil dog have en generisk karakter, der gør det muligt at "kopiere" resultaterne til andre anvendelsesformål og brancher – f.eks. hoteller, kantiner, slagtere, bagere osv. Det belyste besparelsespotentiale fra restaurationsbranchen udgør altså blot en lille del af det samlede forventede besparelsespotentiale, og det forventes derfor, at projektets resultater vil afføde en effekt, som over tid vil vokse sig væsentligt større.

Restaurationsbranchen er energitung, og paletten af forskellige energiforbrugende enheder er bred. I tillæg til dette er restaurationsbranchen en travl branche, hvor energibesparelser ikke sættes højt på dagsordenen.

Nærværende projekt sikrer igennem en udvidet overvågning af walk-in køle-/fryserum, at energibesparelser opnås, uden at bestræbelsen mod at opnå besparelserne vil være en belastning for ejer og medarbejder. Den udvidede overvågning vil samtidig sikre muligheden for igennem proaktivt vedligehold at afværge nedbrud på uhensigtsmæssige tidspunkter og herved reducere økonomisk tab samt undgå påvirkning af arbejdsmiljøet.

Et walk-in køle-/frostrum er (lidt simplificeret) et forstørret køle- eller frostskab. Man går her ind i enten et køle- eller frostrum og henter sine varer. De fleste walk-in køle-/frostrum opbygges meget ens: En isoleret kasse (selve rummet) kølet af et køleanlæg bestående af et "through the wall"-anlæg eller splitanlæg. Da opbygningen, designet og driften af walk-in køle-/frostrum ikke varierer meget, er det muligt at udvikle en udvidet generisk overvågning, som passer på de fleste walk-in køle-/frostrum. Flere firmaer tilbyder allerede digital temperaturovervågning af walk-in køle-/frostrum. Denne temperaturovervågning foretages som et led i dokumentationen over for fødevarestyrelsens løbende kvalitetskontrol.

Temperaturovervågningen er i projektet blevet videreudvidet til også at omfatte en energioptimering via f.eks. regulering af sætpunkter, en overvågning af køleanlæggets tilstand, der muliggør proaktivt vedligehold, og en overvågning af brugen af walk-in køle-/frostrummet, der muliggør adfærdsregulering.

Figur 1 viser to forsimplede eksempler på "fingeraftryk" fra et walk-in køle-/frostrum. "A" viser elforbrugsmønstret for energieffektiv drift. De røde streger indikerer den effekt, som kompressoren forbruger i køleanlægget. Det ses, hvordan kompressoren har perioder, hvor den ikke er i drift, og hvor kun effekt til ventilatorer og lys forbruges. Den blå markering indikerer en afrimningssekvens, hvorefter kompressoren kører to nye cyklusser. "B" viser samme walk-in køle-/frostrum, men hvor der er problemer med ineffektiv afrimning. Tilrimningen reducerer indedelens evne til at køle rummet ned, og kompressoren kører i længere perioder med lavere effekttræk end i "A", men det akkumulerede energiforbrug stiger. Forskellen mellem de to driftsscenarier vist i "A" og "B" kan ikke umiddelbart afkodes på andre måder end ved at kigge på energiforbruget (manuelt eller automatisk) eller ved visuel inspektion, der kan være besværet af et kabinet. Hvis tilisningen opdages ved visuel inspektion, kan denne også være meget udpræget. Hvis en overvågning kan sammenholde "normaldriften" i "A"-scenariet med den uhensigtsmæssige drift i "B"-scenariet, haves et "fingeraftryk" for en uhensigtsmæssig drift, der kan handles ud fra.

Figur 1 - A: Fingeraftryk for energieffektiv drift, B: Fingeraftryk for mindre energieffektiv drift.

Analyserne foretaget i projektet af de opsamlede data afslører, hvilke "fingeraftryk" der med fordel kan inkorporeres i den udvidede overvågning af walk-in køle-/frostrum. "Fingeraftrykkene" bliver inkorporeret i den udvidede overvågning, som informerer brugeren. Visse fingeraftryk vil kræve brugerens involvering. Brugeren vil dog modtage håndgribelig information at tage stilling til, som sikrer, at brugeren tager de rigtige beslutninger på det rette tidspunkt uden at blive unødigt belastet i dagligdagen med yderligere elementer at tage stilling til.

5. Funktionsbeskrivelse

Data, som skal anvendes til at finde forskellige fingeraftryk, logges ideelt hvert minut. Denne lognings-frekvens er brugbar for at sikre, at data fra køle-/frostrum vil indeholde den information, som er nød-vendig for at kunne bestemme fingeraftryk til videre brug i den udvidede overvågning, samtidig med at mængden af data holdes på et håndterligt niveau. Analysen af de opsamlede data belyser dog, at en lavere logningsfrekvens også kan anvendes i nogle tilfælde. Dog vil en lavere logningsfrekvens i mindre grad muliggøre detektering af hændelser af kortere karakter, ligesom risikoen for at hændelser blandes sammen stiger.

Målsætningen var at databehandling sker i realtid via mønstergenkendelse, hvor databehandlingen søger efter fingeraftryk, som vil afføde en handling. Visse hændelser vil ske øjeblikkeligt, hvor mønster-genkendelsen vil detektere et fingeraftryk ud fra "historisk" erfaring. Et eksempel kan være noget så simpelt som en øjeblikkelig forhøjet luftfugtighed og en temperaturstigning i kammeret. Dette kan være foranlediget af, at en ikke-forseglet beholder med varm væske køles i rummet. Et andet eksem-pel, hvor mønstergenkendelsen sker over tid, er f.eks. detekteringen af et filter, der bliver mere og mere tilsmudset. Her vil effekttrækket til en ventilator blive større over tid (dette eksempel ligger uden for projektet idet det relaterer sig til ventilationsanlæg). Fingeraftrykket findes ved at sammenholde den aktuelle driftstilstand med et billede af "normaltilstanden", når anlægget lige har fået skiftet filter. Når den aktuelle driftstilstand afviger tilstrækkeligt fra normaltilstanden, vil dette fingeraftryk detekte-res. Hvis den udvidede overvågning har "lært", at der er x antal døråbninger pr. døgn af y minutters varighed, vil der opstå et "fingeraftryk", såfremt brugen af rummet ændres væsentligt fra dette.

Under Figur 2 forklares det nærmere, hvordan den udvidede overvågning fungerer, hvilke ansvarsom-råder der eksisterer samt kommunikationsveje.

Figur 2 - Funktionsdiagram for den udvidede overvågning.

Den udvidede overvågning består af flere elementer. En gateway, der samler data fra sensorer og sender disse til behandling i "cloud'en", samt "cloud'en", der står for selve databehandlingen. Gateway'en i kølerummet sender data fra køleanlæg op til cloud'en, som driftes af et firma (f.eks. Eupry). Cloud'en kan ved hjælp af modtagne data detektere fingeraftryk, som sendes til brugeren – eksempelvis i form af SMS'er eller via en app. Her vil cloud'en også kunne kommunikere alarmer, og på sigt vil cloud'en også kunne tilkalde et servicefirma helt uden brugerens interaktion. Cloud'en vil også på sigt i nogen grad kunne ændre sætpunkter på køleanlægget superviseret af det firma, som drifter cloud'en. På Figur 2 ses yderligere grænselandet imellem de aktører, der arbejder i denne "verden". Installatører tager sig af de fysiske installationer, hvor Eupry tager sig af den virtuelle verden i form af at "drifte" cloud'en.

6. Metode

Den viden, som ligger til grund for de resultater, som præsenteres i slutrapporten, stammer delvist fra baggrundsviden hos projektpartnerne, men i høj grad også fra den dataopsamling, som er foregået løbende igennem projektperioden. Overordnet set er der analyseret data, som er opsamlet i fem forskellige og på hinanden efterfølgende perioder og steder. Perioderne og stederne er beskrevet yderligere i det følgende:

- Datasæt 0 – før projektstart – stammer fra et projekt, som hed *Data fra mobile online målinger i restaurationsbranchen* udført af blandt andre Københavns Kommune og Flexmeter.
- Datasæt 1 – under projektet – er opsamlet ved Zoologisk Have.
- Datasæt 2 – under projektet – er opsamlet ved Marienlyst Badehotel.
- Datasæt 3 – under projektet – er opsamlet ved frostrum i kølelaboratoriet på Teknologisk Institut.
- Datasæt 4 – under projektet – er opsamlet ved Meyers Kantiner på Teknologisk Institut i både Aarhus og Taastrup.

Fælles for datasættene 1-4 er, at de indeholder el-, temperatur- eller brugsdata fra de walk-in køle-/frostrum, som fandtes på sitet. Datasæt 0 indeholder eldata og antal gæster i restaurationen.

6.1. Datahøst

I det følgende beskrives den erfaring, som løbende blev opsamlet sammen med data ved de forskellige værter. Dataopsamlingen dannede grundlag for den analyse, som ligger til grund for detekteringen af de forskellige fingeraftryk. De vigtigste fingeraftryk er efterfølgende indlejret i softwarealgoritmerne. Grafer, som understøtter den vigtigste læring fra hvert datasæt, præsenteres i det følgende.

6.1.1. Indledende data – Datasæt 0

Da projektet blev skudt i gang tilbage i 2017, var der allerede opsamlet en god mængde data fra et tidligere projekt som hed *Data fra mobile online målinger i restaurationsbranchen.* Et projekt, som var drevet af blandt andre Københavns Kommune og Flexmeter. Datasættet indeholdt effektforbrug i watt pr. minut samt tidsstempel for en række køleanlæg. Et eksempel kan ses nedenfor på Figur 3, som viser effektforbrug fra et køleanlæg i ca. to dage.

Figur 3 - Effektforbrug køleanlæg – Datasæt 0.

Det ses på Figur 3, hvordan kompressoren bruger strøm cyklisk indtil om morgenen ved 6-8-tiden. Herfra tilføres der belastning i form af varme til rummet, og køleanlægget har længere driftsperioder. Et par timer efter frokost stabiliseres driften igen (cyklisk). Brugsmønstret minder om kantinedrift med minimalt eller intet forbrug om eftermiddagen og med lukket i weekenderne. Lidt senere hen på sommeren "forstyrres" køleanlægget slet ikke, hvilket indikerer en ferieperiode.

På Figur 3 ses det også, at køleanlægget har mange starter med korte kørselsperioder i starten af grafen indtil om morgenen den 11. juni. Efter den travle periode samme dag ses et ændret og mere energieffektivt kørselsmønster med færre starter og længere driftsperioder. Denne drift er 10 % mere energieffektiv. Den 12. juni tilføres en belastning på kølerummet, som får kørselsmønsteret tilbage i ineffektiv drift om aftenen. Da datasættene ikke indeholder information om brug af kølerummene samt temperatur, er det uvist, hvad der forårsager forskellen i driften. Noget kunne tyde på for få eller for ineffektive afrimninger af indedelen.

En af de vigtigste konklusioner fra den type data, som fremgik af Datasæt 0, var, at der var behov for at logge mere information om brugen af walk-in køle-/frostrummene samt stamdata om de enkelte rum for at kunne detektere fingeraftryk mere optimalt. Der sås i Datasæt 0 ikke nogen klar relation til antallet af gæster i restauranten på de enkelte dage og mængden af forbrugt energi relateret til køleanlæggene.

For at kunne detektere fingeraftryk korrekt er det vigtigt i forbindelse med opsætning af loggere at indhente kvalitative data om rummene, såsom:

- Restaurationens åbningstid og brug (kantine, cafe, alacarte restaurant).

- Antal kunder og antal medarbejdere (inkl. mødetider).
- Hvornår der kommer varer til walk-in køle-/frostrummene.
- Hvad opbevares i de forskellige rum, og hvad er temperaturniveauet.
- Hvor er kondenseringsaggregaterne placeret, udendørs eller i tilstødende rum.

På baggrund af de indledende data blev der udarbejdet et interviewskema, som blev anvendt til at indhente den information (se bullets herover) om walk-in køle-/frostrum, som var nødvendig for effektivt at kunne detektere fingeraftryk og forstå måledata korrekt. Interviewskemaet fremgår af Bilag 10.2.

Med erfaring fra de indledende måledata i Datasæt 0 og baggrundsviden om køleanlæg blev nedenstående målinger aftalt mellem projektpartnerne:

Figur 4 – Måleopstilling.

Måling 1 er effektforbrug på køleanlæg, måling 2-6 er temperaturmålinger, og måling 7 er antal og varighed af døråbninger. A er køleanlæggets varmeafkast kaldet kondensatoren, B er køleanlæggets kompressor, som er den komponent, der bruger mest strøm, og C er køleanlæggets varmeoptag kaldet fordamperen. D er køleanlæggets ekspansionsventil. Komponent A og B samt styringen indeholdes i køleanlæggets udedel. Komponenterne D og C befinder sig i køle-/frostrummet og kaldes for indedelen.

6.1.2. Ny data – datasæt 1 – 4

I dette afsnit præsenteres den læring, som blev høstet i de dataopsamlingsperioder, som blev udført i selve projektet. Udgangspunktet for type af sensorer, antal og placering fremgår af Figur 4. Efterhånden som hvert datasæt kom i hus hos de forskellige værter, blev der opsat færre og færre sensorer, fordi det blev klarlagt, at mange af fingeraftrykkene kan detekteres med én enkelt temperaturføler. Alle de fingeraftryk, som er detekteret i projektet i alle datasæt, fremgår af fingeraftrykskataloget i Bilag 10.1.

6.1.2.1. Datasæt 1 – Zoologisk have

I projektet blev de første data samlet op i et kølerum og et frostrum i Zoologisk Haves restaurant. Disse to rum blev betjent af hver deres kondenseringsaggregat, som var placeret på taget. På Figur 5 ses et udpluk af data fra frostrummet. Grafen blev udarbejdet for at vise, hvor vigtigt det er med den rette logningsfrekvens – dvs. samme målepunkt er målt med loggere med forskellig logningsfrekvens.

De to øverste kurver (gul og grå) er temperaturen på den væske, som strømmer frem til køleanlæggets indedel. Den midterste orange kurve er omgivelsernes temperatur udendørs. De nederste kurver er rumtemperaturerne i frostrummet samt luftens udblæsningstemperatur.

Figur 5 - Udpluk af data fra Zoologisk Have.

Det ses på Figur 5, at der kun optræder temperaturdata. Døråbningsdata blev også opsamlet ved denne vært og anvendt til at finde fingeraftryk. Denne type data præsenteres i Datasæt 2. Desværre var det ikke muligt at få information om køleanlæggenes energiforbrug, som korresponderede til temperaturen. I analysen var det ikke muligt at "skille" data ad, da flere forbrugende enheder var koblet til samme gruppe. Dette er set før ved eltavler af ældre dato. Efterhånden som tiden går, og der udbygges, sættes der flere og flere forbrugere på de respektive grupper i eltavlen, hvilket skaber støj på datasignalet fra køleanlæggenes elektriske effekttræk. Derfor var én af erfaringerne fra denne dataopsamling, at det var nødvendigt, at næste vært var "af nyere dato".

Det ses også af Figur 5, hvordan kompressorens start/stop-frekvens kan fejltolkes, hvis der anvendes loggere med for langsom logningsfrekvens (bl.a. gul og grå linje øverst). Det ses hvordan at den gule og den grå linje øverst ser ud til at have forskellig frekvens selvom om fysikken der er forsøgt målt er ens (samme målepunkt). Denne læring blev taget med til næste dataopsamlingsøvelse på Marienlyst Strandhotel, hvor de hurtigste (et datasample pr. minut) loggere blev anvendt på de vigtigste målepunkter.

6.1.2.2. Datasæt 2 – Marienlyst Strandhotel

På Marienlyst strandhotel, Helsingør, blev der opsat loggere i form af temperatur- og døråbningssensorer samt loggere relateret til køleanlæggenes energiforbrug. På figuren nedenfor ses et udpluk af disse data.

Figur 6: Udsnit af datasæt 2 opsamlet på Marienlyst Strandhotel

Den orange graf viser temperaturen i frostrummet, som aflæses på venstre y-akse. Højre y-akse indikerer døråbninger. Hvis den blå streg har værdien 1, har døren været åben. Den blå stregs tykkelse viser

døråbningens varighed. På figuren ses det, hvordan frostrummet afrimer hver 6. time. De første døråbninger begynder tidligt om morgenen og fortsætter til ud på aftenen.
Omkring middagstid er der stor brug af frostrummet, samtidig med at der kommer en afrimning. Dette giver anledning til, at luftens temperatur ud af køleanlæggets indedel stiger til over 60 °C. Under besøg i frostrummet blev der observeret bagervogne med kager, som stod på frost. Der er muligvis blevet stillet sådan en bagervogn ind i frostrummet på dagen, som vises på grafen. Det ses, hvordan køleanlægget arbejder hårdt på at sænke temperaturen i rummet igen efter afrimningen ved middagstid. Der går over en time, før temperaturen er tilbage under frysepunktet, og yderligere næsten en time, før temperaturen er tilbage på -18 °C, som er temperaturkravet i frysere til fødevarer. Alt dette kunne være undgået, hvis den udvidede overvågning havde alarmeret om lav reservekapacitet, længe inden køleanlæggets reservekapacitet var degraderet så meget, som det ses på figuren. Derudover kunne afrimningen også med fordel være flyttet til en periode med mindre belastning på frostrummet.

Desværre skulle alt køl og frys renoveres på Marienlyst strandhotel få måneder efter at loggerne var sat op. Derfor var det ikke muligt at arbejde videre ved denne vært.

6.1.2.3. Datasæt 3 – Kølelaboratoriet på Teknologisk Institut

Datasæt 3, som er opsamlet i kølelaboratoriet på Teknologisk Institut, er brugt som grunddata til at opbygge softwarealgoritmerne, som er beskrevet i afsnit 7.1. Kølelaboratoriet består af et walk-in frostrum, som benyttes til at indfryse testpakker, som benyttes på Teknologisk Instituts testfaciliteter. Softwarealgoritmerne er ikke baseret på de data, der er opsamlet i Datasæt 3, men Datasæt 3 er blevet brugt til at validere de outputs, vi får fra softwarealgoritmerne.

Fordelen ved dette datasæt er, at de er opsamlet i et kontrolleret miljø, og at vi ved, hvem der benytter walk-in frostrummet, og til hvad det benyttes. Derudover kender vi den køletekniske installation og ved, hvor og hvordan de vigtigste komponenter er installeret. Det gør walk-in frostrummet godt til også at afprøve forskellige driftsscenarier.

På nedenstående figur ses et udsnit af de opsamlede data. Data blev opsamlet med Euprys trådløse temperatursensor.

Figur 7: Udsnit af data opsamlet på Kølelaboratoriet på Teknologisk Institut

Det ses, hvordan køleanlægget arbejder cyklisk, som det skal under drift, og at der afrimes ca. hver 12. time. Lige omkring frokost har der været brug af rummet. Læg mærke til, hvordan køleanlægget trækker temperaturen længere og længere ned på grund af tilrimning af indedelen. Dette betyder at anlægget arbejder mindre effektivt, og det skyldes det faktum at luftflowet over fordamperen bliver reduceret på grund af rim mellem varmevekslerens lameller. Samtidigt bliver varmeoverføringen dårligere. På grund af den lavere luftmængde bliver sluttemperaturen koldere. Herefter stabiliseres driften med "cut-out" på -18,5 °C. For hver grad køleanlægget køler rummet for langt ned, øges energiforbruget med 3-4 %.

6.1.2.4. Datasæt 4 – Meyers Kantiner på Teknologisk Institut

Datasæt 4, som er opsamlet i Meyers Kantiner på Teknologisk Institut, er opsamlet og brugt til at tilpasse og fintune softwarealgoritmerne. Datasættet er opsamlet med blot en enkelt temperaturlogger i hvert walk-in køle-/frostrum. Dette er gjort med henvisning til erfaringer vi har samlet for tidligere datasæt, og for at validere, at et enkelt målepunkt på et vilkårligt sted i rummet med relativ god luftcirkulation er nok til at kunne samle brugbare data op, som softwarealgoritmerne kan tolke med overvejende god præcision. Altså en enkelt temperaturlogger og dens opsamlede data er tilstrækkeligt til at kunne detektere hændelser i walk-in køle-/frostrummene. På figuren nedenfor ses et udsnit af disse data.

Figur 8: Udsnit af opsamlet data fra Meyers Kantiner på Teknologisk Institut

Det ses, hvordan temperaturerne i rummene er inden for de temperaturkrav, som Fødevarestyrelsen definerer. I kølerum 1 er der mange daglige besøg, når der laves mad til de ansatte på Teknologisk Institut. I kølerum 2 og i frostrummet er der mindre aktivitet.

7. Opnåede resultater og diskussion

Et af projektets hovedresultater er, at vi har vist, at det kan lade sig gøre at beskrive et walk-in køle-/frostrums vigtige driftsparametre ved blot at måle temperaturen kontinuert et vilkårligt sted i rummet, hvor der er relativ god luftcirkulation. Dette kan f.eks. være på undersiden af en hylde.

Ved at kunne beskrive driften af walk-in køle-/frostrummet med en enkelt temperaturmåler kan mulige energibesparelser identificeres, og køle-/frysesystemets tekniske tilstand kan beskrives og løbende overvåges.

Derudover er elforbrugsdata fra walk-in køle-/frostrummene afgørende for at forbedre softwarealgoritmernes præcision i deres detektering af hændelser. Projektet har erfaret, at elforbrugsdata i flere tilfælde har været svære at logge med tilfredsstillende nøjagtighed, da flere elforbrugende apparater kan være tilsluttet på samme gruppe. Dette giver "støj" på de loggede elforbrugsdata, da køleanlæggenes elforbrug er svært at skille fra andre de forbrugere på den målte gruppe.

Under dataopsamlingsperioden, hvor data løbende blev analyseret, og softwarealgoritmerne blev udviklet, fandt vi frem til, at færre temperaturmålepunkter på samme installation kunne detektere "fingeraftryk" med overvejende god sandsynlighed. Derudover kunne hændelser som døråbninger og afrimninger adskilles på baggrund af bl.a. stejlheden på temperaturkurven og tidsstyret afrimning.

Flere temperaturmålinger på køleanlæggets rørføringer kan give værdifulde input om køleanlæggets tilstand. Ofte er de dog kun værdifulde, når der er problemer med køleanlægget, og der kræves derfor mere viden om køleanlægget – herunder hvilket kølemiddel der bruges – før de giver værdi.

7.1. Softwarealgoritmer

Der er blevet udviklet softwarealgoritmer til detektering af hændelser i opsamlet data fra forskellige walk-in køle- og frostrum hos projektets værter. Softwarealgoritmerne er udviklet i programmeringssproget Python, der er et sprog med åben kildekode. Med åben kildekode forstås, at algoritmerne ikke er udviklet på et licensbaseret eller adgangsbegrænset sprog, og de kan derfor implementeres frit på tværs af brugermiljøer.

Algoritmerne er bygget op på følgende måde:

1. Temperaturdata indlæses fra en logger på et af værternes walk-in køle-/frostrum.
2. Lokale top- og bundpunkter på kurven med temperatur identificeres med deres respektive temperaturniveauer og tidspunkter.
3. Top- og bundpunkter på temperaturgrafen benyttes til at udlede data om køle-/fryseanlæggenes driftsmønstre – herunder køretid og slukketid for kompressoren. Den relative køretid for kompressoren belyser bl.a., hvor hårdt belastet walk-in køle/frostrummet er.
4. Top- og bundpunkter på temperaturgrafen opdeles efter walk-in køle-/frostrummets "åbningstid" (hvornår medarbejderne møder ind og har fri). På den måde kan brugeradfærd "filtreres" fra det billede, vi ser af walk-in køle-/frostrummets tekniske tilstand. Dette muliggør, at man kan lave langsigtet tilstandsovervågning for at se, hvordan køle-/fryseanlægget yder over længere tid, og om ydeevnen degraderes løbende.
5. Der udledes statistiske parametre for køle-/fryseanlæggenes driftsmønstre og top-/bundpunkter for temperaturdataet.
6. Matematiske betingelser opsættes for de hændelser, vi ønsker at finde ud fra de statistiske parametre. F.eks. forbindes en afrimning med en højere temperatur i rummet, når køle-/frysekompressoren startes efterfølgende, hvilket bl.a. skyldes, at der er tilført varme til rummet over længere tid end ved normal drift. Et tegn på afrimning vil være, at algoritmen opdager en forhøjet temperatur ved kompressorstart, hvilket vil få en af de opsatte "hændelsesbetingelser" til at tillægge sandsynlighed for afrimning i det observerede temperaturpunkt.
7. Driftsmønstre og tilhørende top- og bundpunkter på temperaturgrafen evalueres op imod de matematiske "hændelsesbetingelser", og der vil tillægges sandsynlighed til de datapunkter (tid og temperatur), der opfylder en eller flere "hændelsesbetingelser".

8. De hændelser med størst sandsynlighed/som opfylder alle hændelsesbetingelserne gives som output af algoritmen som fundne "fingeraftryk", som f.eks. kan være døråbninger i walk-in køle-/frostrummet eller afrimningssekvenser på køleanlæggets indedel.

Plots, som viser, hvordan softwarealgoritmerne indikerer døråbninger og afrimninger på de data, som indlæses, samt hvordan reservekapaciteten beregnes, præsenteres i afsnit 7.5.

7.1.1. Sammenhæng med Euprys overvågningsplatform

Temperaturdata er løbende blevet opsamlet med Euprys temperaturloggere og uploadet via WiFi-forbindelse til Euprys server. Data uploades hver 12. time, og logningsfrekvensen kan løbende justeres. Det har været afgørende for kvaliteten af projektets resultater, at der er benyttet temperaturloggere med tilstrækkelig målenøjagtighed, samt at data er blevet uploadet automatisk til Euprys servere, hvilket har lettet arbejdsbyrden i forhold til dataopsamling. Euprys temperaturloggere har fungeret som en plug-and-play-løsning.

Eupry har lavet en sandkasseplatform (sandbox server), som er et udviklingsmiljø, hvor de opsamlede temperaturdata bruges som input til algoritmen, der leder efter hændelser. Algoritmen behandler data fra det seneste døgn, og temperaturprofilen vises på en platform/brugerflade på en hjemmeside. Algoritmens output, som er fingeraftryk, bliver vist oven på temperaturgrafen. Således kan man aflæse af platformen, hvornår der har været en hændelse, og hvordan temperaturen var i hændelsesøjeblikket og op til.

Dette kan være afgørende information, hvis der er uhensigtsmæssig drift af køleanlægget eller i værste tilfælde nedbrud på køleanlægget.

Den serverplatform, som Eupry er ved at udvikle på, kan plotte de detekterede hændelser, som softwarealgoritmen opfanger, ved at softwarealgoritmen behandler den temperaturgraf, som brugeren vælger på serverens brugergrænseflade. Således vil en valgt temperaturgraf få lagt de detekterede hændelser oven på temperaturgrafen som vist nedenfor.

Figur 9: Beregnet sandsynlighed for hændelser ud fra temperaturdata. Et output fra softwarealgoritmerne.

Det ses på Figur 9 hvordan at softwarealgoritmerne beregner en sandsynligheden (aflæses på højre y-akse) for at de temperaturpeaks (som aflæses på venstre y-akse) enten er en døråbning eller en afrimning.

7.2. Fingeraftrykskatalog

Fingeraftrykskataloget kan findes i Bilag 10.1. I dette afsnit beskrives de fire vigtigste fundne fingeraftryk fra kataloget.

7.2.1. Lav reservekapacitet

En lav reservekapacitet betyder helt grundlæggende, at køleanlæggets kompressor har en meget høj driftstid i forhold til slukketid. Lav reservekapacitet er det modsatte fænomen af høj belastningsgrad. Dette kan skyldes flere ting, herunder:

- Kompressorens ydeevne er degraderet, hvilket kan være et tegn på manglende kølemiddel, mekanisk slid eller en svær tilsmudsning af varmevekslere (indedel og udedel).
- Højt varmeindfald fra omgivelser – walk-in køle-/frostrummets isolering kan være beskadiget, eller der er perioder med ekstraordinært høje omgivelsestemperaturer.

- Uhensigtsmæssig brug af walk-in køle-/frostrummet – dette kan f.eks. skyldes lange døråbninger, eller at varer sættes ind ved for høj temperatur (de burde afkøles ude, hvis det er muligt med respekt for fødevaremyndighedernes krav).

Lav reservekapacitet kan relativt nemt identificeres ved at analysere anlæggets driftsmønstre f.eks. via softwarealgoritme og ved at sammenligne reservekapaciteten ved forskellige driftsbetingelser: ved varemodtagelse, varm sommerdag og drift om natten vs. drift om dagen. Nedenfor ses reservekapaciteten for det samme frostrum i et udsnit over fire repræsentative dage fra hver årstid i 2020.

Figur 10 - Plot af reservekapacitet for køleanlæg beregnet ved 1 temperaturmåling.

Som det ses på Figur 10, har køleanlægget en fin reservekapacitet i vinter-, efterår-, og forårsperioden. Her anvender anlægget kun ca. 30 % af den kapacitet, som er til rådighed. I sommerperioden ser det anderledes ud, hvor der på de varmeste dage kun er 20 % kapacitet tilbage. Ved at sammenligne den reservekapacitet, der er til rådighed ved forskellige belastninger og udetemperaturer, kan der udledes nøgletal for køleanlæggets tilstand. På baggrund af disse nøgletal kan nedbrud varsles.

7.2.2. Forringet effektivitet – indedel

Når man taler om indedelen på køleanlægget til et walk-in køle-/frostrum, er det som regel en fordamper, man refererer til. Fordamperen er en varmeveksler, hvor kølemidlet fordampes inde i nogle

rørbundter, som bestryges med luft fra walk-in køle-/frostrummet, der køles af, da kølemidlet fordamper ved lavere temperatur end rummets temperatur.

Når effektiviteten af indedelen i walk-in køle-/frostrummet forringes, skyldes det ofte følgende:

- Fordamperen/indedelen tilrimes eller tilsmudses, og overfladen blokeres, hvilket forringer varmeovergang og luftcirkulation i walk-in køle-/frostrummet.
- Et problem relateret til fordamperen/indedelens ventilator

Forringet effektivitet på indedelen kan typisk ses ved, at køleanlæggets kompressor har længere køretid pr. kølecyklus. Desuden vil temperaturen af luften ud af fordamperen blive lavere, da køleanlægget forsøger at kompensere for den lavere varmeovergang ved at sænke kogepunktstemperaturen på kølemidlet i fordamperen.

Denne drift er mindre energieffektiv og bør undgås. En tommelfingerregel er, at for hver grad udblæsningstemperaturen er koldere end den burde være, stiger energiforbruget med 3-4 %.

7.2.3. Forringet effektivitet – udedel

Udedelen på et køleanlæg vil typisk være en kondensator, som er en varmeveksler, hvor kølemidlet fortættes ved høj temperatur, og varmen afgives derved til omgivelserne. Jo højere denne temperatur er i forhold til omgivelserne, desto mere ineffektiv drift af køleanlægget. En tommelfingerregel er 3-4 % pr. grad, at temperaturen i kondensatoren er for høj i forhold til, hvad den kunne være.

Kondensatoren kan også blokeres eller tilsmudses, hvilket reducerer varmeovergangen for udedelen og dermed udedelens effektivitet, fordi temperaturen i kondensatoren derved stiger. Hvis forskellen mellem udetemperaturen og kondensatortemperaturen overvåges, er det muligt at sige noget om kondensatorens tilstand og resulterende energiforbrug, hvis baseline kendes.

Forringet effektivitet på udedelen kan typisk ses ved, at køleanlæggets kompressor har længere køretid pr. kølecyklus, samt på elforbruget til køleanlæggets kompressor. Desuden vil man kunne se større hysterese på temperaturen af luften ud af kondensatoren, da luften ud får højere temperatur fra dårlig cirkulation og højere kondensatortemperatur fra kølemidlet. Fingeraftrykket er er beskrevet mere detaljeret i bilag 10.1.8.

7.2.4. Stor fugtbelastning

Stor fugtbelastning eller utilstrækkelig afrimning opstår, hvis walk-in køle-/frostrummet benyttes uhensigtsmæssigt, eller hvis afrimningssekvensen er dårligt tilpasset rummets belastning og tilsvarende tilrimning under brug.

En stor fugtbelastning kan ses ved, at kølekompressoren kører gradvist længere og længere ved hver kølecyklus, da der opbygges mere og mere rim på fordamperen/indedelen mellem hver kølecyklus. En løsning på dette er at lave en afrimning af fordamperen, så isen smeltes af. Hvis al isen ikke smeltes af ved afrimning, vil der gradvist opbygges mere rim på fordamperen, hvilket går ud over køleanlæggets ydelse og energiforbrug. Dette fænomen opstår typisk, når afrimningssekvenserne sættes efter en timer, og man ikke tjekker tilrimningen af fordamperen under drift og efter en afrimning. Derudover kan dårlig brug af walk-in køle-/frostrummet lede til stor fugtbelastning, hvis man f.eks. køler produkter uden at have dem afdækket – en gryde med suppe sættes ind uden låg på.

På en temperaturgraf vil man kunne aflæse kvaliteten af afrimningen ved at se på hældningen af temperaturkurven under afrimning. Når kurven er relativt flad, smeltes isen, og kurven skal derefter blive stejlere, som tegn på at isen er tøet og da det resterende smeltevand på indedelen stiger i temperatur, inden det drypper af.
Desuden vil man kunne se på kølesekvenserne, når temperaturen falder i rummet, at hældningen bliver fladere, jo længere tid der går efter en afrimning. Hos AK-Centralen kaldes dette fænomen for "slæbende afkøling". Fingeraftrykket beskrives mere detaljeret i bilag 10.1.10.

7.3. Brugeroplevelse / brugererfaring

I dette afsnit var det hensigten at præsentere restaurationsejernes / brugernes erfaringer med, hvordan det er at bruge værktøjet, som sender information vedrørende køleanlæggenes drift i en ellers travl hverdag. Erfaringen skulle anvendes til at videreudvikle overvågningen.

Desværre var det ikke muligt at udvikle softwarealgoritmerne hurtigt nok til, at disse kunne sende pragmatisk information til brugerne, som kunne handle ud fra dette, inden COVID-19-pandemien slog igennem i 2020 og ændrede fokus for Danmarks restaurationsejere markant. I forbindelse med nedlukningen har fokus været rettet mod lønkompensation og på at undgå at skulle dreje nøglen frem for at indarbejde nye hverdagsrutiner.

Da denne slutrapport afleveres før projektets officielle afslutning, er det projektgruppens forhåbning at medtage brugererfaring i en version 2 af denne slutrapport.

7.4. Kommercialisering – anvendelse af resultaterne

De resultater, der er skabt i projektet, kan udbredes og bruges af projektets partnere i deres forretningsudvikling. Nedenfor præsenteres hver partners bidrag til, hvordan projektets resultater kan skabe værdi for deres virksomhed. Hvis projektets resultater realiseres som energibesparelser, vil Københavns Kommune bedre kunne nå delmålet i klimaplanen om at reducere elforbruget hos kommunens ca. 13.000 handels- og servicevirksomheder med 20 % i 2025.

7.4.1. Eupry

Eupry har været en vigtig projektpartner, der tiltrådte projektet på et kritisk tidspunkt ift. projektets fremdrift da projektgruppen pludselig manglede en partner med en trådløs temperaturovervågning. Euprys trådløse temperaturloggere har fungeret som dataopsamlingsværktøj på flere af datasættene i projektet og data var været nemt tilgængelig at downloade fra deres server.

Udvikling af den udvidede overvågning har haft stor interesse for Eupry, da deres forretning går på at overvåge temperaturniveauer i kølede miljøer primært i den farmaceutiske verden. Her er dokumentation af løbende temperaturmåling et krav til kvalitetssikring af produkterne. Derudover bruges deres temperaturloggere på flere danske apoteker, hvor brugerne kan overvåge temperaturen i deres køleskabe, samt få alarmer ved høj temperatur.

Den viden og de resultater der er skabt i projektet, giver Eupry viden om de køletekniske sammenhænge i temperaturdata (herunder softwarealgoritmernes output), og kan dermed overføres til deres overvågning af produkter i køleskabe m.m., da de kan hjælpe til at beskrive køleskabenes tekniske tilstand samtidig med at de dokumenterer at temperaturen er overholdt.

7.4.2. Flexmeter

Flexmeter har været en vigtig projektpartner hele projektet igennem, da de har stået for opsætning af elmålinger hos flere af projektets værter. Derudover har Flexmeter bragt stor erfaring ind i projektet i forhold til elforbrugende elementer i restaurationsbranchen – herunder walk-in køle-/frostrum.

Flexmeter oplever, at branchen ikke har fokus på energiforbrug, da indkøb, madlavning, rengøring og vagtplaner fylder det hele. Det er derfor vigtigt at finde smarte metoder, med hvilke det er muligt at nudge brugerne til bedre adfærd.

Et af de vigtigste elementer i storkøkkener er køle-/frostrum, hvor råvarer og andre komponenter til madlavningen opbevares. Det er en katastrofe, hvis disse ikke virker – f.eks. som følge af manglende service af kompressorer eller/og anden vedligeholdelse. Det kan hurtigt komme til at koste mange tusinde af kroner, hvis et kølerum skal ryddes, og alle varer skal smides ud grundet for høje temperaturer.

En metode til at komme situationen i forkøbet er den udvidede overvågning af temperatur- og eldata for walk-in køle-/frostrum, som kan give den indsigt, der er nødvendig for at undgå nedbrud. En indikator for dette kunne være et stigende forbrug over tid. Monitoreringen giver også mulighed for at kunne finde uhensigtsmæssige indstillinger som f.eks. afrimning midt i den travleste tid for driften, hvor dørene åbnes mest.

Overvågning af temperaturer i et køle-/frostmiljø er både et krav til behandling af fødevarer og et brugbart værktøj til at finde energibesparelser for brugerne (kunderne). Dette vil kunne indpasses som en af de services, som Flexmeter – sammen med elovervågning – leverer til deres kunder.

Flexmeter mener, at der er store perspektiver i denne form for overvågning, som er i stand til at forudsige køle-/frostnedbrud og uhensigtsmæssig adfærd på baggrund af data.

7.4.3. AK-centralen

Igennem projektet har AK-centralen været en nøglepartner, da de har stor erfaring med at måle på og vurdere den dynamik, som udspiller sig inde i salgskølemøbler og i walk-in køle-/frostrum. Den erfaring bruger de manuelt til at sikre temperaturkvalitet, forudsige nedbrud og indfri energibesparelser hos deres kunder.

For AK-centralen har projektet været vigtigt, fordi der er blevet genereret viden og erfaring, som kan anvendes i forbindelse med at udvide deres services til automatisk overvågning af store og små kompressoranlæg samt walk-in kølerum i supermarkedssektoren.

I supermarkeder anvendes walk-in køle-/frostrum oftest ifm. bager- eller slagterafsnit. Temperaturovervågning af disse er allerede en del af den service, som AK-centralen tilbyder, og implementeringen af projektets resultater er derfor en naturlig udvidelse af den service, AK-centralen tilbyder. Temperaturovervågning af walk-in køle-/frostrum er dog ikke AK-centralens kerneprodukt, men må ses som mere sekundært. AK-centralens primære produkt er overvågning af slagskølemøbler samt kompressoranlæg. Herigennem sikrer AK-centralen, at de korrekte temperaturer opretholdes, samtidig med at energibesparelser opnås.

Samspillet imellem store og små kompressoranlæg og de øvrige installationer – f.eks. salgskølemøbler, produktion af varmt vand og rumvarme fra køleanlæg – er her afgørende for handlerummet for den automatiske overvågning. Den udvidede overvågning af kompressoranlægget gør det muligt at vurdere anlæggets reservekapacitet og tilstand samt behov for fremtidigt vedligehold. Dette er nødvendig viden, for at AK-centralen kan skabe mere værdi for deres kunder ved at opnå energibesparelser for supermarkedet som helhed samt ved at kunne yde systemservices til el- og fjernvarmenet.

7.5. Effekten af resultaterne – proof of concept

Det er i projektet blevet påvist, at kontinuerte temperaturmålinger i walk-in køle-/frostrum kan give et billede af den tekniske installations tilstand og energiforbruget af køleanlægget i samspil med brugen af rummene. Softwarealgoritmerne kan kende forskel på afrimninger og døråbninger ud fra temperaturdata med nogenlunde nøjagtighed, som det ses i Figur 7. Derudover kan reservekapaciteten på køleanlæggene beregnes løbende for dag- og natdrift som vist i Figur 10Figur 8. Med disse funktioner kan man

forebygge nedbrud = 0 % reservekapacitet – og indfri energibesparelser ved at ændre adfærd, da antallet af døråbninger logføres automatisk og kan outputtes ved behov. Ud over dette ligger der et potentiale, som kan indfries, hvis softwarealgoritmerne kan udbygges til at kunne detektere alle de uhensigtsmæssige situationer, som er beskrevet i fingeraftrykskataloget i Bilag Fejl! Henvisningskilde ikke fundet..

Det har været projektets hensigt at præsentere en måleperiode før og efter, at den udvidede overvågning har været "i drift". Dette har været udfordrende grundet corona-pandemien, som dels har udfordret både projektpartnere, men også i særdeleshed værter med hjemsendelser, nedlukninger eller omprioriteringer.

Derudover kan det blive vanskeligt at tydeliggøre energibesparelser hos værter, der kører på nedsat bemanding nu ift. før corona-nedlukning, da der kan være energibesparelser, der stammer fra reduceret belastning på walk-in køle-/frostrummene.

Dog er det lykkes at skabe et værktøj til at analysere adfærden og indirekte energiforbruget i walk-in køle-/frostrummene gennem softwarealgoritmerne. Brugerne kan via softwarealgoritmerne blive informeret om, hvor mange døråbninger der registreres, samt om reservekapaciteten på køleanlægget under drift. Denne information kan anlægsejerne reagere på ved at få undersøgt køleanlægget af en montør i tide eller ved at bede personalet om at ændre adfærd.

Elforbruget for kølerum 1 i Meyers Kantine på Teknologisk Institut i Taastrup er vist i figuren nedenfor.

Det ses, hvordan energiforbruget næsten er dobbelt så højt i hverdagene, hvor køkkenet anvendes til at producere frokost. Dvs. halvdelen af den energi, som kølerummet bruger, er relateret til brug i det viste scenarie. I dette scenarie arbejder køkkenet i dellast, da en del af Teknologisk Instituts ansatte stadig arbejder hjemme. Dvs. at energiforbruget relateret til brug sagtens kan være højere under normale tilstande.

Det vides fra Energistyrelsens "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder", at køl og frys i den danske restaurationsbranche stod for et energiforbrug svarende til 469 TJ pr. år i 2012. Det kan antages at op til 75% af energiforbruget til køl og frys er relateret til brug og adfærd som kan påvirkes, og at energieffektiviteten vil blive 15% bedre ved brug af den udvidede overvågning jf. potentialet belyst i Figur 3 ved at udføre proaktivt vedligehold og energioptimeret brugeradfærd. Ud fra dette, vurderes det muligt at halvdelen af det energisparepotentiale (22%) som er belyst i indledningen kan realiseres under forudsætning af at den udvidede overvågning implementeres fuldt ud i hele branchen.

For at kunne kvantificere betydningen af adfærdsændring over for walk-in køle-/frostrummenes brugere har vi for Meyers Kantine på Teknologisk Institut i Taastrup beregnet det ekstra elforbrug, som køleanlæggene bruger under drift, og sammenholdt det med antallet af daglige døråbninger, som softwarealgoritmerne har detekteret. Resultatet kan ses af nedenstående figur.

Her kan ses forskellen mellem det ekstra elforbrug, der er registreret på hverdage, altså når walk-in kølerummene er "i brug", sammenlignet med gennemsnittet af de daglige elforbrug i weekenderne. Det ekstra elforbrug er plottet sammen med antallet af daglige døråbninger, som softwarealgoritmerne har registreret på de respektive hverdage. Det kan ses, at jo flere døråbninger, der er registreret med algoritmerne, jo tilsvarende højere elforbrug er der målt den pågældende dag.

Vi har beregnet det ekstra elforbrug pr. døråbning for hvert af kølerummene til følgende:

Ekstra elforbrug pr. registreret døråbning [kWh/d]	
Kølerum 1 – Meyers Kantine TI Taastrup	Kølerum 2 – Meyers Kantine TI Taastrup
0,75 kWh/d pr. døråbning	0,40 kWh/d pr. døråbning

Forskellen mellem de to kølerum skal bl.a. forstås ved, at kølerum 1 er størst og bruges til nedkøling og varemodtagelse. Kølerum 2 bruges primært til opbevaring af grøntsager.

Det ekstra elforbrug ift. weekend, der er registreret, skyldes bl.a.:

- Døråbninger giver luftskifte med typisk varm og fugtig luft, som skal afkøles, og fugten udkondenseres.
- Jo flere døråbninger, jo mere aktivitet er der i walk-in kølerummet. Der vil typisk være større udskiftning af varer i rummet den pågældende dag, hvor kolde varer tages ud, og "varme" varer sættes ind.

Det sidste punkt vil oftest være det, som er udslagsgivende i forhold til det ekstra elforbrug, da det ikke er nær så energikrævende at køle luft ned, som det er at køle varme varer ned (f.eks. suppe eller bouillon). Ved at kunne reducere antallet af døråbninger må det forventes, at det samlede ekstra daglige elforbrug, når walk-in køle-/frostrummene er i brug, kan reduceres en smule.

7.6. Udbredelse af resultaterne

Projektets målsætninger er blevet udbredt ad flere omgange. Første gang i en artikel bragt via medierne GridTech og WaterTech i juni 2019 med overskriften "Omfattende datahøst på kølerum skal hjælpe restauranter med at spare op til 44 pct. på elregningen – GridTECH Pro". Senere også i en publikation fra Innovationsfonden om de pågående udviklingsprojekter på daværende tidspunkt. Her var overskriften "Lækker mad med grøn bonus". Publikationen er fra 2019.

Også til El- og teknikmessen i Odense i 2018 blev projektets formål og målsætninger fremlagt, og der er efterfølgende lavet opslag på LinkedIn.

Hensigten er også at planlægge og udføre en temadag (muligvis online) i samarbejde med Københavns Kommune, men da restaurationsbranchen p.t. er særdeles udfordret grundet COVID-19-pandemien, er det besluttet at skubbe denne temadag til efter sommerferien 2021. I forbindelse med projektets officielle afslutning opdateres slutrapporten til en version 2, hvor der vil blive redegjort for alle projektets formidlingsaktiviteter.

8. Perspektivering

To af formålene med den udvidede overvågning er en delvis udlicitering af ansvar til tredjepart (f.eks. temperaturovervågning eller, over tid, løbende energioptimering), samt at brugeren modtager prioriteret pragmatisk information om nødvendigt præventivt vedligehold, energioptimeringspotentialer, adfærdsregulering osv. Brugeren vil altså ikke skulle analysere drift eller data og vil bruge et minimum af tid på at opnå fordelene ved den udvidede overvågning. Den udvidede overvågning vil altså gøre brugerens arbejde nemmere, samtidig med at energibesparelser og større sikkerhed opnås.

Det er restaurationsejeren eller udvalgte medarbejdere med ansvar, som vil få adgang til fingeraftryk (samt til fulde datasæt) og til de affødte anbefalinger til handlinger, som brugeren bør foretage. Brugeren vil have adgang til fingeraftrykkene samt til anbefalinger online, hvilket sikrer, at brugeren kan følge med i driften, mens han/hun ikke er til stede fysisk i restauranten. Hvor meget information, brugeren får fra disse informationsservices, kan tilpasses afhængigt af temperament og interesse for anlægsdriften. Kommunikationen med brugeren kan evt. udvides med en SMS-service eller en app, der også "pusher" information ved hastesager. Brugeren vil kunne tilgå en prioriteret liste over "fingeraftryk", som brugeren kan arbejde ud fra. Via den udvidede overvågning klares opgaver som at sikre temperaturkvalitet og

dokumentationen heraf ifm. Fødevarestyrelsens løbende kvalitetskontrol automatisk. Det at prioritere en handling ud fra et "fingeraftryk" i en travl hverdag ligger ud over, hvad myndighederne kræver af en restauratør. For at få brugeren til at prioritere disse opgaver, skal brugeren derfor også informeres om "det vundne" ved at handle på et fingeraftryk. Derfor kan behovet for handling blive fulgt af en mindre tekst med en kvantitativ indikation af besparelsespotentialet, risikoen ved ikke at handle etc.

9. Konklusion

Dette ELFORSK-projekt kan overordnet set konkludere at der kan afdækkes mulige energibesparelser, her specifikt el-besparelser i walk-in køle-/frostrum i restaurationsbranchen ved blot at måle på temperaturen på et vilkårligt sted i walk-in køle-/frostrummet. El-besparelserne relaterer sig til brug og adfærd samt proaktivt vedligehold.

El-besparelsernes størrelse relateret til brug kan afdækkes ved at måle elforbruget under normal drift og sammenholde dette med hvordan elforbruget reduceres, når walk-in køle-/frostrummet ikke er i brug eller over en længere periode, hvis temperaturdata peger på en løbende degradering af køleanlægget.

Store datamængder er blevet analyseret fra fem datasæt/værter her i projektet. Dataanalysen har givet input til "generiske fingeraftryk" for energibesparelsespotentialer og uhensigtsmæssig adfærd som er samlet i et katalog over de fundne "fingeraftryk" for walk-in køle-/frostrum. Dette katalog kan findes i bilag 10.

Med afsæt i kataloget med de fundne fingeraftryk, er det forsøgt at programmere fingeraftrykkenes udtryk ind i en softwarealgoritme, der automatisk skal kunne detektere dem, hvis de opstår. Det har været svært under projektet at få fingeraftrykkene programmeret ind i en softwarealgoritme, som også kan adskille fingeraftrykkene fra hinanden. Det har været vanskeligt, da vi undervejs i projektet måtte sige farvel til en nøgle-projektpartner med programmeringskompetencer. Heldigvis trådte Eupry ind i projektet i stedet. Eupry blev sammen med andre af projektets partnere, dog også hårdt ramt af corona-pandemien i foråret 2020, hvilket tvang dem til at reducere deres engagement i projektet.
Det er derfor lykkedes at få implementeret de to vigtigste fingeraftryk i softwarealgoritmerne. På den måde kan der måles brugeradfærd (antal døråbninger), samt køleanlæggets belastningsgrad (reservekapacitet).

Det vides fra tidligere kortlægningerne af energiforbrug i restaurationsbranchen, at køl og frys har energiforbrug svarende til 469 TJ (tera-Joule) pr. år i 2012. Det kan antages at op til 75% af energiforbruget til køl og frys er relateret til brug og adfærd som kan påvirkes, og at energieffektiviteten vil blive 15% bedre ved brug af den udvidede overvågning jf. potentialet belyst i Figur 3 ved at udføre proaktivt vedligehold og energioptimeret brugeradfærd. Ud fra dette, vurderes det muligt at halvdelen af det energisparepotentiale (22%) som er belyst i indledningen kan realiseres under forudsætning af at den udvidede overvågning implementeres fuldt ud i hele branchen. På baggrund af dette kan det konkluderes

at en af projektets vigtigste resultater er et proof-of-concept for den udvidede overvågning som kan realisere et sparepotentiale på lige knap 30 GWh pr. år.

Projektkredsen ønsker at takke ELFORSK for at bevilge støtte til projektet.

10. Bilag

10.1. Katalog med identificerede fingeraftryk

I det følgende beskrives de fingeraftryk/hændelser (udviklingsforløb i måledata i forhold til tiden), som er identificeret i de datasæt, som er indsamlet i ovenstående projekt ud fra primært temperaturmålinger og i mindre grad elmålinger og døråbningsmålinger.

Den dybdegående dataanalyse afslørede mange fingeraftryk af større eller mindre værdi. De fingeraftryk, som er oplistet i nærværende bilag, er udvalgt ud fra kriterier, såsom at de skal være lette at detektere, ikke kræve installation af ekstra sensorer, skabe værdi for slutbruger og indfri energibesparelser. Hvert fingeraftryk er noteret i skemaform og repræsenterer et scenarie, som bør undgås.

Det er formålet i projektet at indlæse de fundne fingeraftryk i en udvidet overvågning. Overvågningen vil da ved detektering af et fingeraftryk / en hændelse enten handle på vegne af brugeren eller informere brugeren om hændelsen sammen med simpel vejledning omkring, hvad der bør/skal gøres. Formålet med den udvidede overvågning er at reducere energiforbruget til køle-/frostanlægget, reducere uhensigtsmæssig brugeradfærd, detektere behov for vedligehold samt evt. havari under opsejling. Foruden den direkte økonomiske gevinst ved den udvidede overvågning kan madspild reduceres, stress foranlediget af mekaniske fejl reduceres, kommunikation på tværs af virksomheden forbedres, o.a.

Gennem dataanalysen stod det ret hurtigt klart, at de vigtigste fingeraftryk kunne detekteres med temperaturmålinger alene – bl.a. fra Datasæt 3 i kølelaboratoriet på Teknologisk Institut. Dette faldt fint i hak med, at walk-in køle-/frostrum er relativt billige at etablere, og de opbevarede varer (kontra i f.eks. medico-industrien) er af relativt begrænset værdi. For at reducere installationsomkostningerne er det derfor valgt i dette dokument primært at se på temperaturer. Elforbrugsdata og døråbningsdata har dog fortsat høj værdi, når køle-/frostrummene når en vis størrelse eller opbevarer højværdiprodukter. Elforbrugsdata og døråbningsdata vil f.eks. kunne understøtte detekteringen af fingeraftryk samt give meldinger om det aktuelle energiforbrug løbende. Dvs. den afledte effekt af at undgå de detekterede scenarier. Analyse af elforbruget og døråbningsdata samt den værdi, disse data bringer, er derfor fortsat centrale for projektet.

10.1.1. Driftsstop køleanlæg

Hvad viser fingeraftrykket?: At køleanlægget er havareret – dvs. at der ikke tilføres køling til rummet.

Fingeraftrykket visuelt: På grafen nedenfor ses fingeraftrykket visuelt. Den blå kurve er luftens temperatur i frostrummet. I starten af grafen ses det, hvordan køleanlægget køler rummet ned og slukker igen, når sætpunktstemperaturen nås. Køleanlæggets start er indikeret med orange prikker, og at køleanlægget slukker igen er indikeret med en grå prik. Det ses, hvordan temperaturen stiger langsomt, og at køleanlægget ikke tænder igen, når "køl start"-temperaturen nås omkring kl. 9. Tilmed ses det, at fingeraftryk kan detekteres med sensorer, som har en relativt lav opløsning.

Fingeraftryk beskrevet med ord: Når køleanlægget kører og har tilpas med reservekapacitet til at kunne håndtere de belastninger, som løbende opstår, ses en cyklisk temperaturprofil som i starten af grafen ovenfor. Hvis køleanlægget bryder ned, vil temperaturen stige langsomt, som det ses i slutningen af grafen ovenfor. Dette temperaturforløb med det karakteristiske opvarmningsforløb, som ses ovenfor i grafens slutning, kan detekteres af den i projektet udviklede overvågning, som sender en alarm.

Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Der skal sendes en alarm til den driftsansvarlige person, som har ressourcerne til at få udbedret problemet. Evt. også direkte til den virksomhed, som servicerer køleanlæggene. Der skal handles hurtigt for at undgå, at de varer, som holdes kolde, skal kasseres.
Værdien af fingeraftrykket: • Energiforbrug: Høj • Fødevarekvalitet: Høj • Arbejdsmiljø: Høj • Forebyggende vedligehold: Lav Det er nedbrud, som virksomheder for alt i verden vil undgå. Madvarer/produkter skal i værste fald kasseres, og arbejdsmiljøet påvirkes negativt den pågældende dag, hvor nedbruddet opdages.
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Der kan have været tidligere fingeraftryk, som har indikeret, at der er opstået et problem – se f.eks. "Lav reservekapacitet". Udover det vil elforbruget udeblive fra kompressoren den dag, nedbruddet sker.
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej. Kan anvendes på alle kølede rum i alle brancher. Medico, fødevare, restauration, industri etc. Evt. hvor hældningen på temperaturstigningen forårsaget af nedbrud er tilpasset den enkelte type køle-/frostrum.

10.1.2. Lav reservekapacitet

Hvad viser fingeraftrykket?: At anlægget har lav reservekapacitet. Dvs. der er et problem, der skal tages hånd om, hvis man vil undgå ineffektiv drift, for høj temperatur eller i værste fald nedbrud.

Fingeraftrykket visuelt: Vises her for et anlæg med passende reservekapacitet. Reservekapaciteten er lav, hvis der er korte pauser mellem "køl slut" og "køl start". Hvis der slet ingen pauser ses herimellem, er reservekapaciteten nul, og temperaturen vil begynde at stige i rummet, hvis det udsættes for yderligere påvirkning såsom højere omgivelsestemperaturer, døråbninger eller lign.

Fingeraftryk beskrevet med ord: Lav reservekapacitet kan være virkning fra flere forskellige årsager såsom: Tab af kølemiddel, tilsmudset/tiliset indedel, ødelagt isolering, uhensigtsmæssig brug af kølerum m.m. Det er vigtigt, at "beregningen" af lav reservekapacitet er justeret for udetemperaturen.

Alle køleanlæg vil i kortere perioder køre med ingen reservekapacitet, hvis køle-/frostrummet har være udsat for stort varmeindfald og køler for at nå setpunktet. Det er derfor vigtigt, at datagrundlaget

til at detektere fingeraftrykket måles på et tidspunkt, hvor brug af rummet er minimal, men hvor de kraftigste ydre påvirkninger er til stede – dvs. når udetemperaturen er høj. Den normale drift, dvs. den reservekapacitet, som maksimalt er til stede, måles ved lav udetemperatur og ingen brug.
Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Der skal sendes en alarm til den person, som har ansvar for fødevarekvaliteten, og som har ressourcerne til at få lokaliseret og udbedret problemet.
Værdien af fingeraftrykket: • Energiforbrug: Høj • Fødevarekvalitet: Høj • Arbejdsmiljø: Middel • Forebyggende vedligehold: Høj
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Ja. Hvis problemet med lav reservekapacitet ikke udbedres, bliver temperaturen for høj, og fingeraftryk "forkert termostatindstilling eller for høj temperatur" afsendes.
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej. Kan anvendes på alle kølede rum i alle brancher, hvor der anvendes ikke-frekvensregulerede kølekompressorer: Medico, fødevare, restauration, industri etc.

10.1.3. Lang døråbning

Hvad viser fingeraftrykket?: At medarbejdere/brugere har glemt at lukke døren til køle-/frostrummet, eller at de bruger rummet i lange perioder uden at lukke døren.

Fingeraftrykket visuelt: I midten af grafen ses, hvordan luftens temperatur i frostrummet påvirkes af en dør, som står åben i 28 minutter.

Fingeraftryk beskrevet med ord: Døråbninger påvirker lufttemperaturen meget i køle- og frostrum, som det ses på grafen, fordi kølingen afbrydes, og varm/kold og fugtig luft løbende vil udveksles med omgivelserne. Når luften påvirkes, vil temperaturen i madvarerne/produkterne også stige grundet den varme luft, men i høj grad også grundet den kondensering af vanddamp, der vil foregå. Dog stiger temperaturen i madvarerne/produkterne ikke med samme hastighed som luften. Det ses også, at reservekapaciteten på køleanlægget er blevet mindre, da der er længere tid mellem "køl start" og "køl slut" efter døråbningen sammenlignet med før døråbningen. Dette skyldes, at den varme, som rummets indhold har optaget, skal køles væk, samtidig med at grundbelastningen i form af varme gennem vægge skal behandles for at holde temperaturen nede. Det observeres endvidere på grafen efter den lange døråbning, at luftens temperatur køles længere ned, før køleanlægget stoppes, fordi setpunktet er nået. Dette kan betyde, at køleanlæggets sugetryk er lavere efter en lang døråbning, og dette

betyder, at køleanlæggets drift både er forlænget, men også mere ineffektiv, se i øvrigt fingeraftryk "Forringe effektivitet – køleanlægs indedel".
Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Hvis der ofte ses lange døråbninger, skal medarbejder med personaleansvar have en alarm, så adfærden kan påvirkes.
Værdien af fingeraftrykket: • Energiforbrug: Høj • Fødevarekvalitet: Middel • Arbejdsmiljø: Lav • Forebyggende vedligehold: Lav
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Ja, se "Lav reservekapacitet".
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej. Kan anvendes på alle rum, hvor der findes en indedel, der køler et rum.

10.1.4. Forkert termostatindstilling eller for høj temperatur

Hvad viser fingeraftrykket?: At indstillingerne i køle-/frostrummets controller er sat uhensigtsmæssigt, eller at temperaturen er for høj.

Fingeraftrykket visuelt:

Fingeraftryk beskrevet med ord: Det ses på grafen ovenfor, at termostatindstillingen er forkert. Termostaten tillader, at temperaturen når -16,5 °C, før kølingen starter. Kølingen slukker igen ved -18 °C. Dvs. setpunktet er indstillet forkert. Det skal rykkes minimum 2 °C ned for at klare kravet på -18 °C, som er gældende for de fleste frostrum. Temperaturforskellen mellem "køl start" og "køl slut" er termostatens hysterese. Denne kan også være indstillet forkert og være for stor, hvilket forårsager, at køleanlægget køler rummet for langt ned i temperatur med merelforbrug til følge. Er hysteresen for lille, får kølerummet for mange "køl start" / "køl stop", og dette forringer køleanlæggets levetid. 2 °C er en passende hysterese i de fleste tilfælde. Det omvendte scenarie kan også detekteres, hvor setpunktet er sat for lavt i forhold til den brug, rummet har. Dvs. at hvis det måles, at temperaturen er relativt langt under temperaturkravet, samtidig med at brugen er minimal, bruges unødig el på at opretholde temperaturen.

Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Alarm sendes til medarbejder, som har ansvar for fødevarekvaliteten.
Værdien af fingeraftrykket: • Energiforbrug: Høj • Fødevarekvalitet: Høj • Arbejdsmiljø: Middel • Forebyggende vedligehold: Lav Hvis temperaturen ikke er under kravet, risikerer virksomheden at få bødeforlæg, og fødevarekvaliteten reduceres. Omvendt hvis hysteresen er for stor eller setpunktet for lavt, bruges unødig energi. Bøder kan påvirke arbejdsmiljøet – derfor middel.
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Ja. "Lav reservekapacitet".
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej, kan anvendes på alle rum, hvor der er temperaturkrav.

10.1.5. Unødigt mange døråbninger

Hvad viser fingeraftrykket?: At medarbejdere/brugere har en for hyppig anvendelse af frostrummet. Og hvor brugen kan optimeres med energibesparelse til følge, hvis afhentning og placering af varer struktureres anderledes.

Fingeraftrykket visuelt: Nedenfor ses rummets temperatur ud for indedelen (Orange), De blå lodrette streger viser døråbninger inkl. deres varighed (den blå stregs tykkelse).

Fingeraftryk beskrevet med ord: Døråbninger påvirker lufttemperaturen meget i køle- og frostrum. Ligeledes introduceres der fugt i rummet, hvilket vil udkondensere sig på indedelen (fordamperen) og kolde overflader. Når fugten kondenseres på overflader (for både køle- og frostrum) og indfryses herpå (kun for frostrum), afgives der varme til rummet, som skal køles væk igen for at holde temperaturen nede. Ydermere kræves der ekstra energi til den efterfølgende afrimning (kun for frostrum), da mere is skal fjernes fra indedelen. Denne energi skal igen køles væk. Under driften op til afrimningen, hvor indedelen er tilrimet grundet den lange døråbning, vil køleanlægget køle ineffektivt, hvilket resulterer i højere elforbrug og lavere reservekapacitet.

Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Hvis der ses døråbninger for ofte, skal medarbejder med personaleansvar have en alarm, så adfærden kan påvirkes til at minimere antallet af døråbninger samt hver døråbnings varighed.

Værdien af fingeraftrykket:

- Energiforbrug: Høj
- Fødevarekvalitet: Middel

• Arbejdsmiljø: Lav • Forebyggende vedligehold: Lav
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Ja, se "Lav reservekapacitet".
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej. Kan anvendes på alle rum, hvor der findes en indedel, der køler et rum.

10.1.6. Forringet effektivitet – køleanlæggets indedel

Hvad viser fingeraftrykket?: At der er opstået et problem omkring køleanlæggets indedel (fordamperen), som med fordel kan udbedres for at undgå nedbrud og øge køleanlæggets energieffektivitet.
Fingeraftrykket visuelt:
Fingeraftryk beskrevet med ord: På ovenstående graf ses temperaturen i et frostrum. Der er to afrimninger på kurven. Ca. kl. 10 og kl. 22.30, hvor temperaturen stiger. Lige før kl. 15 har der været en døråbning på ca. 30 minutter. Det ses, at rummet efterfølgende køler luften længere ned. Dvs. at i denne periode kører kølesystemet med en forringet virkningsgrad, og først efter afrimningen kl. 22.30 reetableres den normale drift. Hvis der har været et antal døråbninger, og hysteresen (forskel mellem maksimum- og minimumtemperatur i rummet) ikke bliver mindre efter en afrimning, er der et problem i køleanlæggets indedel, som med fordel kan afhjælpes. Problemet kan være relatereret til en tilsmudset eller tilrimet indedel.
Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Information om, at der er opstået en problemstilling, som skal undersøges nærmere af en kølemontør.

Værdien af fingeraftrykket: • Energiforbrug: Høj • Fødevarekvalitet: Middel • Arbejdsmiljø: Lav • Forebyggende vedligehold: Høj
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Fingeraftrykket har en vis relation til døråbninger, som kan bruges til at understøtte detekteringen, hvis døråbninger også detekteres.
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej. Kan anvendes på alle rum, hvor der findes en indedel, der køler et rum.

10.1.7. Uhensigtsmæssig afrimning

Hvad viser fingeraftrykket?: At afrimningen er placeret på et "travlt" tidspunkt i forhold til køle-/frostrummets brug. Denne placering giver anledning til høje temperaturer i rummet.

Fingeraftrykket visuelt:

Fingeraftryk beskrevet med ord: På ovenstående graf ses flere tidsstyrede afrimninger, som finder sted hver 6. time. Temperaturen ud af indedelen (fordamperen) under afrimningen kl. 12 den 21. juni stiger til 70 °C. Denne høje temperatur hænger sammen med, at afrimningen startes på et tidspunkt, hvor der i forvejen er varmt inde i frostrummet grundet mange lange døråbninger lige før afrimningen. Ydermere har brugerne måske kørt en stor mængde varme varer ind i frostrummet. De andre varer i frostrummet vil påvirkes af dette sammenfald, og derfor bør afrimningen flyttes til et tidspunkt, hvor køleanlægget ikke i forvejen er ved at stabilisere temperaturen i rummet. For et rum som dette, der afrimer hver 6. time, kunne det være lige før, rummet tages i brug. Lige før rummet tages i brug igen efter frokost, og lige efter rummet ikke bruges mere før næste dag. Dette er meget individuelt fra sted til sted, og mønstret for et givent køle-/frostrum kan ændres over tid. Det er derfor værd, at den automatiske overvågning kan detektere denne uhensigtsmæssighed og hjælpe brugeren til at finde de mest optimale afrimningsperioder pr. døgn over en ugebasis.

Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: En notifikation til ejeren om, at servicemanden skal flytte afrimningen ved næste besøg samt hjælpe med at finde mere optimale afrimningstidspunkter.

Værdien af fingeraftrykket:

- Energiforbrug: Middel

• Fødevarekvalitet: Høj • Arbejdsmiljø: Lav • Forebyggende vedligehold: Høj
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Fingeraftrykket har en vis relation til døråbninger, som kan bruges til at understøtte detekteringen, hvis døråbninger også detekteres.
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej. Kan anvendes på alle rum, hvor der findes en indedel, der køler et rum, og som afrimes med en given frekvens.

10.1.8. Problematik – Køleanlæggets udedel

Hvad viser fingeraftrykket?: At der er opstået en problematik, eller at denne er ved at udvikle sig i køleanlæggets udedel (kondensator/kondenseringsaggregat).

Fingeraftrykket visuelt:

Fingeraftryk beskrevet med ord: Grafen viser lufttemperaturen ud af udedelens kondensator for en periode på otte dage. Grafen viser en situation, hvor køleanlægget kører normalt. Det ses, hvordan køleanlægget har tændt og slukket med en given frekvens, som giver en hysterese på ca. 5K. Frekvensen, som ses på grafen med en større hysterese, er påvirkningen fra omgivelsestemperaturen. Hvis tænd/sluk-hysteresen over tid øges (grafen bliver tykkere), er der ved at opstå et problem, som bør løses for at sikre energioptimal drift og undgå nedbrud. En graf, der viser, at blæseren aldrig slukker, altså at tænd/sluk-hysteresen udebliver, hvilket resulterer i en "streg", som følger udetemperaturen, bør også give anledning til en alarm til ejeren.

Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Alarm til ejer om, at køleanlægget skal kontrolleres for ovenstående nu eller ved næste service, alt afhængig af hvor udtalt forskellen er. Problematikken kan være relateret til mange fejl såsom tilsmudsning af udedel, blæser der kører langsommere end den plejer samt andre styringsfejl, som gør, at køleanlægget aldrig stopper.

Værdien af fingeraftrykket:

- Energiforbrug: Høj
- Fødevarekvalitet: Middel
- Arbejdsmiljø: Middel

• Forebyggende vedligehold: Lav
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Nej
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej. Det er unikt for rum, der køles med et splitanlæg eller et anlæg, som er ført igennem en mur.

10.1.9. Dør åben eller på klem

Hvad viser fingeraftrykket?: At døren er åben eller på klem.

Fingeraftrykket visuelt:

Det ses, hvordan køleanlægget kører "start-stop" i starten af grafen, som viser lufttemperaturen ud af indedelen og temperaturen i frostrummet. Den blå linje er temperaturen ud af indedelen, og den orange er lufttemperaturen inde i frostrummet. Ca. kl. 14.30 bliver døren til frostrummet åbnet og ikke lukket igen før næste dag kl. 8.30.

Fingeraftryk beskrevet med ord: Det ses, hvordan temperaturen i frostrummet har været oppe omkring -10 °C i en lang periode. Det betyder, at fødevarernes holdbarhed er nedsat, uden at personalet er opmærksomt på dette.

Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Der skal sendes en alarm til vagthavende personale, som kan få døren lukket. En lang periode, hvor setpunkttemperaturen aldrig nås, skal automatisk sende alarm til ansvarshavende personale.

Værdien af fingeraftrykket:

- Energiforbrug: Høj
- Fødevarekvalitet: Høj

• Arbejdsmiljø: Høj • Forebyggende vedligehold: Lav
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Nej.
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej.

10.1.10. Stor fugtbelastning

Hvad viser fingeraftrykket?: At køle-/ frostrummet har været udsat for en stor fugtbelastning, som giver øget elektricitetsforbrug, eller at afrimningssystemet skal kontrolleres.

Fingeraftrykket visuelt:

I starten og slutningen af ovenstående graf for rumtemperaturen ses to afrimninger. Ca. kl. 14 ses en lang døråbning. Under hver afrimning er indikeret to perioder med en sort henholdsvis rød markering.

Fingeraftryk beskrevet med ord: Det ses på ovenstående graf, hvordan temperaturen stiger langsomt i den sorte periode og hurtigere i den røde periode. Dette hænger sammen med, at der i den sorte periode smeltes is på indedelens overflade, og dette sker ved konstant temperatur. Når isen er smeltet, går al varmen fra afrimningsvarmelegemerne til at øge temperaturen. Ovenstående karakteristik kan bruges til at detektere tre forhold. Hvis den sorte periode er længere, end den plejer, har rummet været udsat for en stor fugtbelastning (mange døråbninger eller nedkøling af ikke-afdækket væske).

Hvis den røde periode er "for lang", bruges unødig meget elektricitet til at afrime, dvs. at afrimnings-systemet skal kontrolleres. Hvis den røde periode helt udebliver, smeltes al isen ikke, og afrimnings-systemet skal derved også kontrolleres.
Hvilket signal skal fingeraftrykket afføde?: Hvis fingeraftrykket detekteres gentagne gange, kan en be-sked sendes til ejeren af rummet, som derved kan undersøge, om den uhensigtsmæssige brug kan undgås eller ændres.
Værdien af fingeraftrykket: • Energiforbrug: Høj • Fødevarekvalitet: Lav • Arbejdsmiljø: Lav • Forebyggende vedligehold: Lav
Er fingeraftrykket koblet med et andet fingertryk?: Nej
Er fingeraftrykket unikt for køle-/frostrum? Nej, i alle kølede rum, hvor afrimning er nødvendig, kan fingeraftrykket detekteres.

10.2. Interviewskema

Restaurationens navn: _____

Primær kontaktperson:

Navn: _____

Telefonnummer: _____

E-mail: _____

Åbningstider: _____

Antal kunder pr. dag (ca.): _____

Antal medarbejdere: _____

Hvad er medarbejdernes typiske mødetider:

_____

_____

_____

_____

Hvilken type restauration driver du?

Sæt kryds:

- [ ] Café
- [ ] Restaurant
- [ ] Kantine
- [ ] Andet _____

Hvor mange frost- og/ eller kølerum er der i din restauration?
Antal frostrum: _____
Antal kølerum: _____

Hvilke fødevarer opbevarer du typisk…
I dit kølerum?

_____
_____
_____
I dit frostrum?
_____
_____
_____

Hvornår på dagen åbnes dørene meget i dine køle- og frostrum?
Angiv tidsrum: _____
_____

Placerer I varme/lune varer i køle- og frostrummene?

Sæt to krydser:

- [ ] Ja, i kølerummene
- [ ] Nej, ikke i kølerummene
- [ ] Ja, i frostrummene
- [ ] Nej, ikke i frostrummene

På hvilke ugedage modtager I varer, der placeres…
I dit kølerum?

_____
_____
I dit frostrum?
_____
_____

Hvad er størrelsen på dit/dine kølerum?
Angiv højde, dybde og bredde:

_____
_____
_____

Hvad er størrelsen på dit/dine frostrum?
Angiv højde, dybde og bredde:

_____
_____

Hvem servicerer jeres anlæg?

_____
_____
_____

Er der en skærm, eller styresystem til køle-/frostrummene?
Sæt kryds:

☐ Ja
☐ Nej

Hvis ja, vedlæg gerne beskrivelse, billeder og eventuelle servicepapirer.

Yderligere information:

Hvis du har mulighed for at sende følgende dokumentation til os, vil det være en stor hjælp:
Kopi af menukort
Kopier af oprindeligt tilbud på køle/frostrum, teknisk information, arbejdstegninger, servicepapirer osv.
Billeder af tryk- og temperaturfølere
Billeder af anlæg, indedel, udedel, kompressor og mærkeplader.

TEKNOLOGISK
INSTITUT