

Best in Class: Salgskølemøbler 2.0

ELFORSK-projekt 352-011 (2020)



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Best in Class: Salgskølemøbler 2.0

ELFORSK-projekt 352-011 (2020)



Udarbejdet for:

ELFORSK

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Energi og Klima
Gregersensvej 1
2630 Taastrup

Udarbejdet sammen med:

ELCOLD: Mads Frank
Hennig Olsen Is: Esben Norby

Februar 2022

Forfattere:

Per Henrik Pedersen, Frederik Winthereik, Babette Peulicke Slott, Hans Walløe, Rasmus Borup



Indhold

Resumé	4
English summary	5
1. Indledning	6
Formål	7
Metode.....	8
Projektdeltagere	10
Indholdet i projektet	10
Projektets relevans.....	12
2. Test af basismodel	13
3. Matematisk model	17
4. Langtidstest	23
5. Koncept for prototype og test af denne	25
Test med ny kompressor	25
Test med super-lavemmissionsglas.....	25
6. Kortlægning af brugeradfærd.....	30
7. Konklusion og diskussion	32
8. Bilag	33



Resumé

Kølesystemet og effekten af glaslåger er blevet undersøgt for iscremefrysere med indbygget kølesystem. Der blev opnået en energibesparelse på 24,5 % ved at benytte en ny og mere effektiv kompressor med det naturlige kølemiddel R600a (isobutan).

Ved at installere nye glaslåger med super-lavemissionsbelægning på undersiden blev energiforbruget reduceret med yderligere 15,8 % ift. prototypen med optimeret kompressor. Når man benytter vandrette glaslåger, dannes der et stillestående luftlag under glasset, og dette virker som en ekstra isolering. Det totale energiforbrug blev reduceret fra 2,483 kWh/dag til 1,579 kWh/dag, hvilket er en besparelse på 36,4 %. Energieffektivitetsindekset (EEI) er reduceret fra 48,8 % (energiklasse D) til 31,0 % (energiklasse C).

State-of-the-art iscremefrysere benytter i dag glaslåger med lavemissionsbelægning med en emissivitet på ca. 0,11. I projektet er det lykkedes at skaffe nye glaslåger med en super-lavemissivitet på 0,03, og det viser sig ved vandrette låger at isolere så godt, at det næsten svarer til et fast låg. Dette skyldes det stillestående luftlag og den meget begrænsede varmestråling fra glasset til fryserens indre.

Gennem de seneste 15 år har der været en tendens til, at der benyttes kurvede glaslåger, fordi disse formodes at fremme salget af iscreme. Indførelsen af EU's energimærkningsordning kan dog medvirke til, at denne tendens i nogen grad rulles tilbage, idet det er nemmere at opnå en god energiklasse, når der benyttes vandrette låger.

Princippet kan også benyttes i andre kølemøbler med glaslåger. Dog vil benyttelsen af super-lavemissionsglas have en relativt mindre effekt ved kurvede eller skråtstillede glaslåger, ligesom dette også er tilfældet, når der er blæsere i kabinettet.

Den mere energieffektive kompressor er ca. 20 % dyrere end den nuværende kompressor. Merprisen for de nye glas kendes endnu ikke, idet der er tale om et helt nyt produkt.

Der er gennemført en kortlægning af brugeradfærd. Energieffektivitet har generelt stor bevågenhed blandt butiksledere. Den store udfordring er, at energiforbruget forekommer abstrakt, og at besparelspotentialet er uklart. Salget af iscreme har den største prioritet, og mere energieffektive frysere må ikke begrænse salget.

Der er beskrevet tre anbefalinger, som kan begrænse energiforbruget: 1) Konkretiser energibesparelspotentialet, 2) Implementér natdækning og 3) Tilbyd valg mellem glaslåger og faste låger.



English summary

The refrigeration system and the role of the cover glass have been investigated for plug-in ice cream freezers. By optimizing the refrigeration system and using a new compressor for R600a, the energy consumption was reduced by 24.5 %. By installing a new glass cover with super low emissivity at the lower surface, the energy consumption was reduced by an additional 15.8 % compared to the prototype with new compressor. For horizontal glass, this creates a still layer of air under the glass which helps to reduce the heat transfer through the lids even more.

The total energy consumption from the basic model to the prototype with new compressor and new glass was reduced from 2.483 kWh/day to 1.579 kWh/day, and this is a decrease of 36.4 %. The Energy Efficiency Index (EEI) is reduced from 48.8 % (Energy Class D) to 31.0 % (Energy Class C).

The standard for upper end cabinets is using glass with coating with an emissivity of about 0.11. By using single layer glass with a super low emissivity of 0.03, the effect is enhanced to be almost as good as a night cover. During the last 15 years, there has been a tendency to use curved lids because they are supposed to improve the sale. However, curved lids (or inclined lids) create natural convection in the air below the glass and in some cases dew on the upper surface and therefore a need for heating the glass. The tendency with curved glass might be rolled back (to some degree) after the implementation of the EU energy labelling scheme.

This principle can also be used for other types of cabinets like supermarket cabinets. Some people would maybe feel that horizontal lids are old fashioned and might reduce the sale of food. On the other hand, there have before been similar changes in supermarket cabinets, e.g., from open to closed cabinets, and now most users have accepted the closed cabinets, and the effect on sale is minor. Glass with super low emissivity coating can also be used for curved/inclined lids, but the effect will be relatively smaller because some convection will take place. The same will be the case in cabinets with forced air flow. According to additional costs: The new energy efficient compressor costs approx. an additional 20 % compared to other efficient compressors. The new super low emissivity glass is quite new, and the additional price is not yet quite clear.

A study of user behaviour has been made. Energy efficiency has in general big interest for shop keepers. The big challenge is that the actual energy consumption might be rather abstract, and the potential for energy savings might be unclear. Sale of ice cream is the main issue for shop keepers, and the energy saving must not reduce the sale.

Three recommendations have been made: 1) Specify the energy saving potential for new cabinets, 2) Implement night cover, and 3) Offer a choice between glass lids and rigid lids with foam insulation.



1. Indledning

Den 1. marts 2021 blev ecodesign- og energimærkningsordninger for salgskølemøbler implementeret i hele EU. Hermed blev der fra 2021 skabt gode rammebetingelser for at markedsføre energieffektive apparater i hele EU på dette område. Ligeledes vil disse ordninger gøre det operativt for købere og brugere af disse apparater at efterspørge de mest energieffektive produkter.

Ved at forberede danske virksomheder – både producenter og importører – samt brugere (værter) på disse krav og forberede udviklingen af deres produkter til at være markedsførende i EU kan dansk produktion og danske ansættelser fastholdes og ligefrem styrkes.

I det tidligere ELFORSK-projekt ("[Salgskølemøbler – Klar til ecodesign og energimærkning](#)", projektnummer 349-030), som sluttede i maj 2019, blev der udviklet og testet en ny generation af iscremefrysere. I projektet blev der udviklet et nyt produkt, hvor energiforbruget blev reduceret med 27 % i forhold til den oprindelige model.

Idé

I det tidligere projekt blev det erfaret, at hvis man kan undgå luftbevægelser (konvektion) under glaslåget, så kan man opnå yderligere besparelser. Konvektionen var årsag til, at der i det tidligere projekt måtte benyttes opvarmning af dele af glaslåget for at forhindre dugdannelse.

Hvis der benyttes vandrette glaslåger med lavemissionsbelægning på undersiden, vil der opstå et stillestående luftlag, og man vil undgå, at der skal benyttes ekstra energi til at forhindre dugdannelse oven på glasset.

Der er en klar formodning om, at iscremefrysere med vandrette glaslåger med lavemissionsbelægning samt nye og effektive kompressorer kan komme i en bedre energiklasse og dermed have en konkurrencefordel.

Projektet vil – ud over udvikling af produkter med vandrette glaslæg – også undersøge yderligere besparellestiltag. Der indledes en dialog med flere producenter af kompressorer – herunder SECOP og Embraco – med henblik på at få prototyper af deres mest effektive produkter. Disse prototyper skal bygges ind i nye prototyper af salgskølemøbler. Omtalte kompressorleverandører er ikke direkte partnere i projektet, hvilket giver mulighed for at få bidrag fra flere forskellige leverandører. Der bliver også set på andre potentielle besparelsesmuligheder – og på brugen af natafdækning.

Desuden skal det undersøges, om tilrimning m.m. af fryseren har en signifikant indflydelse på energiforbruget. Dette undersøges ved at lave en langtidstest. Formålet er blandt andet at få klarlagt, om det i fremtiden vil være en fordel at have automatisk afrimning i kommercielle frysere.



Potentialet for at energioptimere salgskølemøbler ligger ikke udelukkende i produktets tekniske specifikationer, men i lige så høj grad i produktets anvendelse: Selv det mest energieffektive produkt kan komme til kort, hvis det ikke anvendes optimalt. Det er derfor afgørende at forstå, hvilken kontekst produktet skal indgå i.

I løbet af projektperioden er der foretaget en række interview hos et antal ejere af salgskølemøbler. Målet er at få et indblik i, hvordan salgskølemøbler anvendes ude i branchen – dvs. under hvilke forhold de driftes og vedligeholdes. Målet med de kvalitative interview og empiriske data er at lave et adfærdsstudie. Sammen med resultaterne fra langtidstesten skal adfærdsstudiet belyse det potentiale, som ligger i at ændre brugernes adfærd. For at afdække hvordan adfærd spiller ind på energiforbruget, indeholder projektet derfor et antropologisk perspektiv. Ved hjælp af kvalitative metoder belyses det, hvilke udfordringer brugerens anvendelse, drift og vedligehold kan skabe for et effektivt energiforbrug – eksempelvis i forhold til afrimning, rengøring, lokation i omgivelser (salgskølemøblers energiforbrug påvirkes af temperatur, relativ luftfugtighed, ventilation m.m.) og fokus på at holde glaslåget lukket mest muligt.

Projektet tager afsæt i den danske producent af salgskølemøbler Elcold, der med sine 60 ansatte bl.a. producerer ca. 40.000 iscremefrysere om året. Projektets resultater vil føre til, at både rådgivere, producenter og forbrugere kan få gavn af energioptimerede produkter hurtigst muligt.

Projektet drager erfaringer fra et planlagt produktoptimeringsforløb omkring iscremefrysere fra Elcold. Erfaringerne vil udmunde i generiske erfaringer omkring udviklingspotentialer, der ikke blot relaterer sig til iscremefrysere. Disse belyste udviklingspotentialer vil være et værdifuldt input til den videre udvikling af salgskølemøbler og andre lignende teknologier. Efter endt projekt vil Elcold stå med et nyudviklet produkt, der kan betegnes som "best-in-class".

I forlængelse af projektet vil produktet blive produktionsmodnet og markedsført.

Formål

Projektet forløber i et tæt samarbejde med projektets hovedpartner Elcold, der gennemgår et produkt-optimeringsforløb i tæt sammenknytning til Teknologisk Instituts forskningsforløb. Elcolds iscremefrysere vil danne rammen om den produktoptimering, der er central for projektet. Optimeringen sker ved først at analysere det eksisterende produkt for derefter igennem to iterationer at optimere produktet. Projektet vil afføde en ny generation af Elcolds iscremefrysere, der vil være blandt "best-in-class"-produkter.

Energieffektivitetsforbedringerne påtænkes at blive opnået ved at benytte nye komponenter (bl.a. nye glaslåger og nye kompressorer til naturlige kølemidler) og ved at se på et ændret design for at reducere kuldebroer o.a.



Vi ved, at der er et potentiale forbundet med at benytte vandrette låger med lavemissionsbelægning på undersiden og mere effektive kompressorer.

For hver mulighed analyseres de enkelte komponenters indvirkning på energiforbruget, omkostninger og eventuelle andre forhold (bl.a. pålidelighed, service m.v.). Der udvikles forslag til design af en prototype med 10-15 % besparelse ift. den eksisterende model.

Metode

I nærværende projekt videreudvikles der på en matematisk model af en iscremefryser. Videreudviklingen tager udgangspunkt i den model, som blev udviklet i det tidligere projekt. Modellen var i stand til at beregne elektrisk effektoptag fra iscremefryserens kølekompressor og kølebehov. Sidstnævnte er den energi, som skal fjernes fra kummen for at holde temperaturen på det korrekte niveau, og er en sum af flere bidrag. Disse bidrag kunne den matematiske model estimere. De var, som følger:

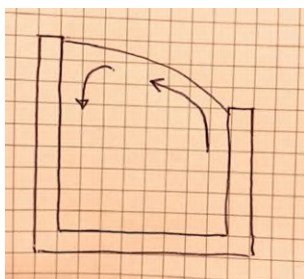
- Kuldetab gennem sider og bund
- Kuldebroer
- Kuldetab gennem buede og skrå glaslåger.

For mere information om fase 1 og den eksisterende matematiske model henvises til slutrapporten fra fase 1-projektet: ["Salgskølemøbler – Klar til ecodesign og energimærkning"](#), projektnummer 349-030.

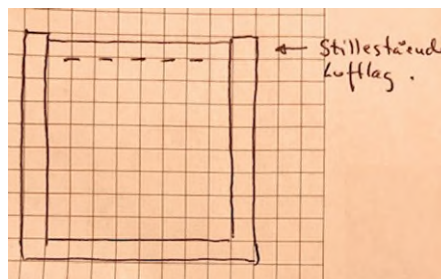
Ovenstående funktioner skal også bruges i nærværende projekt, men modellen skal udbygges med følgende tre funktioner:

1. Effekt af vandrette glaslåger med lavemissionsbelægning

Der er forskel på varmeindfaldet i iscremefryseren, når glaslåget er buet og skråtstillet, kontra når det er vandret, se billeder nedenfor. Ved skråtstillede og buede låg (Figur 1) opstår der konvektion (luftcirkulation) på grund temperaturgradienter og tyngdekraft. Der er derfor flere fysiske processer til forskel, og det betyder, at matematikken i modellen skal ændres. Med et vandret låg med lavemissionsbelægning vil der opstå et isolerende luftlag (Figur 2), som modellen skal medtage i sine resultater. Hvor tykt dette luftlag er, og hvilke andre faktorer, der påvirker det, skal blandet andet studeres.



Figur 1 Iscremefryser med skråtstillet og buet låg.



Figur 2 Iscremefryser med vandret låg.

Der er forskellige former for lavemissionsbelægninger, hvad angår både tykkelse og kvalitet. Belægningen gør, at varmestråling fra omgivelserne absorberes, og temperaturen på glasset hæves. Herved undgås dugdannelse på glassets overside. Variationerne i disse skal den validerede matematiske model kunne estimere effekterne af for at give input til design af prototyperne. Endvidere undersøges det, om der kan opnås en yderligere besparelse ved at anvende dobbeltlag glas (Kun enkeltlag er tilgængelig for buede glaslag).

2. Indvirkning på energiforbrug i forhold til is- og rimopbygning

Den matematiske model skal endvidere videreudvikles til også at kunne regne på, hvilken effekt det har på iscremefryserens energiforbrug, at der sidder et lag af is (rim) på de overflader, som køler kummen. Dette lag af is opbygges løbende, når iscremefryseren anvendes af brugeren. Værdien ligger i, at modellen kan forudsige energiforbruget relateret til is- og rimopbygning som funktion af tiden for en lang række salgskølemøbler. Er effekten signifikant, kan designet af prototyperne optimeres, og adfærden kan påvirkes. Ydermere kan det vurderes, hvornår is- og rimopbygning kan påvirke temperaturkvaliteten nede i kummen.

3. Energibesparelse ved implementering af natafdækning

En måde at spare ekstra energi på er at introducere natafdækning. Dvs. at brugerne trækker en afdækning hen over iscremefryseren om natten. Denne natafdækning kan opbygges i forskellige materialer og tykkelser og kan selvfølgelig også laves automatisk. Den matematiske model skal kunne estimere energibesparelsen ved at vælge forskellige isoleringsmaterialer og tykkelser i natafdækningen og give input til design af prototyperne. Den viden, som generes her, kan også udbredes til andre typer salgskølemøbler.



Projektdeltagere

I en lang årrække har Elcold produceret kvalitetskølemøbler med naturlige kølemidler. Virksomheden har et stort branchekendskab samt viden om brugernes (værternes) ønsker til design, pris og funktionalitet inden for salgskølemøbler. På grund af Elcolds position i markedet bidrager de ligeledes med viden om konkurrence og efterspørgsel på salgskølemøbelområdet.

Hennig Olsen Is har ca. halvdelen af markedet i Norge inden for salg af iscreme og er en af Elcolds største kunder. Hennig Olsen Is har en vigtig rolle i projektet, hvad angår input til design af den nye generation af salgskølemøbler. Målet er, at salgskølemøblet bliver så energieffektivt som muligt, samtidig med at det kan fremvise iscremen på en lækker og indbydende måde.

I de seneste 20 år har Teknologisk Institut været den drivende kraft som projektleder i en lang række forskningsprojekter inden for kølemøblers energiforbrug – både på nationalt og internationalt niveau. Projekterne har fået økonomiske støtte fra mange forskellige puljer – herunder ELFORSK, EUDP, EFP m.fl. Omdrejningspunktet har været energieffektivisering, og listen af produkter, som er blevet optimeret, er lang. Fælles for de fleste projekter er, at de har affødt en kommerciel succes, som har sikret økonomisk vækst og danske arbejdspladser.

Indholdet i projektet

Der er seks arbejdsplaner i projektet. Bemærk, at nogle arbejdsplaner tidsmæssigt overlapper hinanden og er foregået sideløbende.

Arbejdsplan 1 – Screening og indsamling af viden

Et repræsentativt salgskølemøbel til iscreme fra Elcolds sortiment udvælges, og teknologi anvendt i salgskølemøblet samt energioptimeringspotentialer afdækkes. Dette udføres i praksis ved, at salgskølemøblet undergår temperatur- og energitest efter EN16901 i klimakammer med tillægsmålinger på apparatets kølekreds. Sidste opgave i første arbejdsplan er at måle, hvor meget døgnenergiforbruget nedbringes, hvis natafdækning introduceres.

Milepæle (M1): Testrapport af nuværende salgskølemøbel efter EN16901, notat med teknisk analyse af apparatet samt resultat af natafdækningstest.

Arbejdsplan 2 – Langtidstest

Kølemøbler verden over deklarerer efter, hvordan de performer fra fabrikken. I denne arbejdsplan undersøges det, hvordan energiforbrug og temperaturkvalitet påvirkes af forskellige former for anvendelse i praksis. Målet er blandt andet at undersøge påvirkning fra is og rim på kølemøblets indersider. Resultaterne fra landtidstesten sammenholdes med adfærdsstudiet fra Arbejdsplan 4. Målet er at kunne belyse energisparepotentialet for salgskølemøbler relateret til adfærd.

Milepæle (M2): Notat indeholdende analyser og konklusioner fra langtidstest.



Arbejdspakke 3 – Matematisk modellering og potentialer

Den matematiske model fra fase 1 udvides til at kunne regne på 1) vandrette glaslåger med lavemissionsbelægning, 2) effekt af is- og rimopbygning og 3) natdækning. Den matematiske model valideres og fintunes med resultaterne fra Arbejdspakke 1 og Arbejdspakke 2. Efterfølgende bruges modellen samt den tekniske analyse fra Arbejdspakke 1 til at finde de største energisparepotentialer, hvilket munder ud i design af første prototype.

Milepæle (M3): Valideret simuleringsmodel samt design for første prototype.

Arbejdspakke 4 – Indsamling af data til adfærdsstudiet

Mens produktionen af prototype 1 pågår hos Elcold i Hobro, indledes arbejdet med indsamling af data til adfærdsundersøgelsen. En række af 10 interview udføres med brugere (værter) af salgskølemøbler. Brugere udvælges, således at der er et bredt udsnit af forskellige brugere af salgskølemøbler. Som eksempel kan nævnes supermarkeder, kiosker og cafeer.

Milepæle (M4): Empiriske data til adfærdsundersøgelse blandt brugere af salgskølemøbler indsamlet.

Arbejdspakke 5 – Klimakammertest og udvikling af prototyper

Prototype 1 testes i klimakammer efter EN16901, og resultater analyseres. På baggrund af analysen udarbejdes opskrift for prototype 2. Prototype 2 konstrueres hos Elcold og sendes til test hos Teknologisk Institut. Efter endt test analyseres resultaterne, som danner grundlag for det endelige design, som en sidste gang testes efter EN16901.

Milepæle (M5): Endelig prototype med 10-15 % bedre energieffektivitet samt optagelse på *topten* (Europæisk produktliste for meget energieffektive produkter).

Arbejdspakke 6 – Rapportering og formidling

Der udarbejdes slutrapport med analyser og konklusioner.

Milepæle (M6): Slutrapport, paper til konference samt artikel til fagtidsskrift.

Projektets resultater vil blive formidlet gennem flere kanaler og på flere niveauer. På det videnskabelige niveau formidles projektet gennem to kanaler:

1. Der udarbejdes et paper med de vigtigste resultater, som også fremlægges på "IIR Gustav Lorentzen Conference of natural working fluids" i 2022. Denne konference samler hvert år store dele af den europæiske kølebranche.
2. Der udarbejdes også en dansk artikel, som bringes i et nordiske fagtidsskrift.

På det mere brugernære niveau forankres resultaterne ved et indlæg på en relevant dansk temadag afholdt af Teknologisk Institut. Her vil der også være fokus på energiforbruget relateret til adfærd.



Projektets relevans

Der findes på globalt plan millioner af iscremefrysere. Ifølge EU JRC Lot12-Preparatory Study Update, 2014, er der 3,14 millioner iscremefrysere i EU, og de forbruger hver fra 2 til 5 kWh pr. dag med et gennemsnit på ca. 3,5 kWh pr. dag for en fryser med et glaslåg på ca. 0,6 m². Det svarer til et energiforbrug i EU på godt 4 TWh pr. år.

Teknologisk Institut har ikke specifikke tal for Danmark, men det kan formodes, at Danmarks andel udgør ca. 1,5 % af ovenstående EU-tal (dvs. ca. 45.000 iscremefrysere og et forbrug på ca. 60 GWh pr. år).

Levetiden for iscremefrysere vurderes til at være ca. 6-7 år (iscremefrysere bliver brugt og behandlet hårdt). Derfor vurderes salgstallet til at være af størrelsesordenen 7.000 stk. pr. år i Danmark. Det skal nævnes, at der er en vis usikkerhed på disse tal.

I projektet efterstræbes en 10-15 % reduktion af elforbruget i forhold til resultatet i fase 1-projektet. Projektgruppen er af den overbevisning, at de første 10 % kan opnås ved ændringerne beskrevet i projektbeskrivelsen omkring nye komponenter. Herudover forsøges det at opnå yderligere besparelser ud fra køletekniske analyser og justeringer. I fase 1 blev der udviklet og testet den mest energieffektive på markedet med buede låg, og den vil derfor ligge øverst på EU's *topten*-liste for denne kategori: <http://www.topten.eu/english/professional-refrigerators/ice-cream-freezers.html>

Elcold er en jysk virksomhed med en grøn profil. De anvender som udgangspunkt naturlige kølemidler (R600a/isobutan og R290/propan) til deres produkter. På mange områder går Elcold forrest, hvad angår konvertering til naturlige kølemidler. Produktionen er i omegnen af 40.000 iscremefrysere om året. Projektets resultater vil have en generisk karakter og vil derfor også få indflydelse på andre typer af salgskølemøbler.



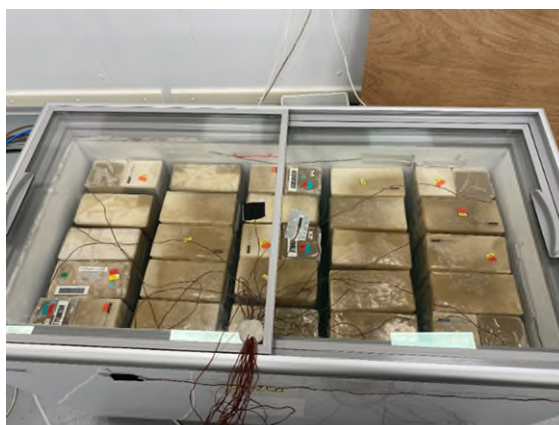
2. Test af basismodel

Basismodellen for projektet er Elcolds iscremefryser Nova 45. Det er en fryser med vandrette glaslåger. Se: <https://elcold.com/produkt/2/nova>.

Glaslågerne er coatede med lavemissionsbelægning på undersiden med emissiviteten $\epsilon = 0,11$ ifølge leverandørens datablad. Dette er standard for højkvalitetsiscremefrysere og sikrer, at temperaturen af glasset er over dugpunktet, og at der ikke kommer kondens på overfladen af glasset. Kompressoren er SECOP NLE15KK4 til kølemidlet R600a (isobutan). Der er 80 g R600a på kølesystemet. Der er svøbskondensator på indersiden af yderkabinettet og svøbsfordamper på isoleringssiden af inderkabinettet.



Figur: Basismodellen Nova 45 set fra siden. Foto fra klimakammer på Teknologisk Institut i Taastrup.



Figur: Basismodellen fyldt med testpakker og målepakker i henhold til teststandarden.



Testen udføres efter EN16901:2016. Denne blev under projektet afløst af den nye standard EN 22043:2020, "Ice-cream freezers – Classification, requirements and test conditions". Disse to standarder er ens i forhold til de test, som er foregået i dette projekt. Hele testrapporten kan ses i Appendiks A, og resultatet af energitesten gengives herunder:

Test 1

Volume	Test results	Declared by manufacturer	by	Deviation %	Requirement	Meets requirement
Net volume [litres]	343	313 (a)		9.6	≥ - 3 %	Yes

Test 2

Electrical energy consumption test. Climate class A	Test results	Declared by manufacturer	Deviation %	Requirement	Meets requirement
Thermostat setting: Pos. 1 3/4					
Energy consumption, E24h [kWh/24h]	2.483	n.a.		< 10%	
Energy consumption, AE [kWh/year]	906.3	n.a.	-	-	-
Warmest M-package, class C1 [°C]	-18.2			≤ -18°C	Yes
Calculated EEI (ref 2)	48.8	n.a.	-	EEI ≤ 80 *	Yes
Calculated Energy class (ref 2)	D	n.a.	-	-	-

* This value will be reduced to 50 1st September 2023.

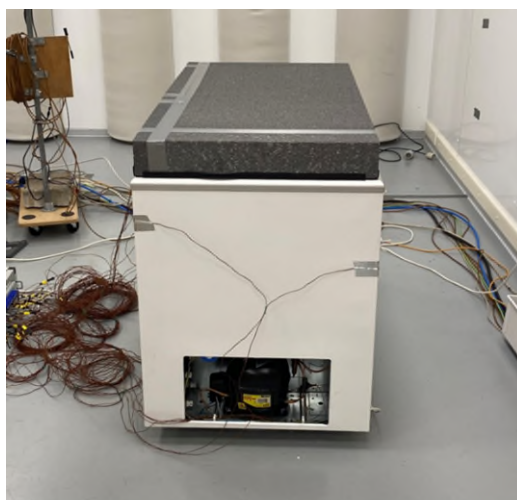


Det ses, at nettovolumen er målt til 343 liter, energiforbruget til 2,483 kWh/day og Energieffektivitetsindex (EEI) til 48,8 %. Det svarer til, at produktet ligger i energiklasse D i den nye energimærkningsordning for salgskølemøbler. Det er tæt på energiklasse E (se nedenstående tabel fra forordningen for energimærkning af salgskølemøbler:

Energy Efficiency Class	EEI
A	$EEI < 10$
B	$10 \leq EEI < 20$
C	$20 \leq EEI < 35$
D	$35 \leq EEI < 50$
E	$50 \leq EEI < 65$
F	$65 \leq EEI < 80$
G	$EEI \geq 80$

*Tabel: Definition af energiklasser ud fra produkternes Energieffektivitetsindeks (EEI).
Fra COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2019/2018 of 11 March 2019.*

Der er foregået en del supplerende test af kølesystemet, og testresultaterne er benyttet til at analysere kølesystemet og eventuelle forbedringer. Resultaterne af disse test kan ses i Appendiks A. Der blev foretaget en test af basismodellen med "natdækning", idet en 100 mm skumisoleringsplade blev lagt ovenpå glaslågerne.



Figur: Basismodellen med "natdækning", som består af en 100 mm skumisoleringsplade.



Resultatet af denne test er:

Electrical energy consumption test. Climate class A	Test results	Declared by manufacturer	Deviation %	Requirement	Meets requirement
Thermostat setting: Pos. 3					
Energy consumption, E24h [kWh/24h]	2.023	n.a.		< 10%	
Warmest M-package, class C1 [°C]	-18.1			≤ -18°C	Yes

Dette medførte en besparelse på 18,5 %.



3. Matematisk model

Dette kapitel kan læses som dokumentation til arbejdet med at udbygge den matematiske model til beregning af varmeindfald, energiforbrug og effektivitet.

Fremgangsmåde

Den matematiske model er en videreudvikling af en model, der er blevet udviklet som beregningsværktøj til iscremefrysere i et foregående projekt. Den matematiske model er udviklet som et beregningsværktøj i MS Excel, hvor produkternes dimensioner og andre parametre kan varieres, og nøgletal kan beregnes.

Vandrette glaslåger med lavemissionsbelægning

For at beregne kuldetabet for de vandrette glaslåger med lavemissionsbelægning benyttes det oprindelige faneblad i Excel-arket med de formler, som er brugt til at regne på kuldetab gennem glaslåg i tidligere modeller. Se evt. gammelt ELFORSK-projekt (nr. 349-030) for information om beregningsmetoder.

Lavemissionsbelægning på glaslågen undersøges, da varmeindfaldet gennem glaslågen udgør en betydelig del af den samlede varmebelastning på iscremefrysere. Lavemissionsbelægning på glaslågen reducerer varmestrålingen fra glaslågens underside til frysekummen.

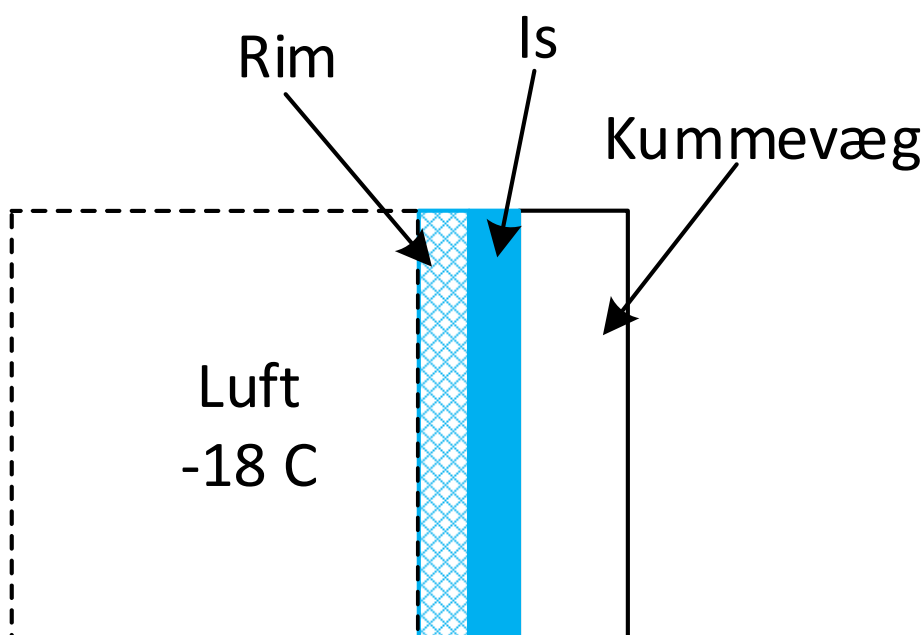
Effekt af is- og rimopbygning

Effekten af is- og rimopbygning – herefter benævnt tilrimning – undersøges for at se, hvordan den påvirker fordampningstemperaturen. Det forventes, at fordampningstemperaturen vil falde, jo mere frysekummens vægge tilrimes – altså når is- og rimlagene på væggene bliver tykkere.

Tilrimning bidrager til en dårligere varmeovergang mellem frysekummen og det kogende kølemiddel i fordamperen. Ved voksende tilrimning bliver varmeovergangstallet dårligere, hvilket medfører, at temperaturforskellen mellem frysekumme og det kogende kølemiddel skal være større, for at køleanlægget kan levere den påkrævede kuldeydelse, se figuren nedenfor. En lavere fordampningstemperatur betyder et større temperaturløft – og et højere trykløft – for kompressoren, hvilket medfører et øget elforbrug til køling.



Efter observation af andre frysere med rimopbygning blev det besluttet, at effekten af tilrimning opbygges af to bidrag: isopbygning og rimopbygning. Rimlaget ligger yderst mod luften i frysekummen, og islaget ligger mellem rimlaget og frysekummens vægge:



Figur: Modelleret tilrimning af iscremefryseren.

Effekten af tilrimning beskrives som varmeledning gennem et lag rim/sne og et lag is.

Natdækning

Effekten af natdækning undersøges for at se, hvordan den påvirker varmeovergangen gennem glaslågen, og for dermed at opnå en energibesparelse, når iscremefryseren ikke er i brug – om natten, når butikken er lukket.

Natdækning er tænkt som et stykke tykt isoleringsmateriale, der lægges over glaslågen, når iscremefryseren ikke skal bruges. I den matematiske model er natdækning beregnet som et bidrag til varmeovergangstallet for glaslågen, hvor varmeovergangen i natdækningen beregnes som varmeledning. Der tages højde for materialetypen af natdækket og tykkelsen.

Nye kompressorer

Der er fra Elcolds side udført test med en ny kompressor EGX110CLC fra producenten Embraco, der har en bedre ydelse og COP end den nuværende kompressor NLE15KK.4 fra Secop i iscremefryseren Nova 45. Som et alternativ til kompressorer med fast omdrejningstal overvejer Elcold at køre med kompressorer med variabelt omdrejningstal, hvor der kigges på modellerne VESD11C med R600a og



VESA7U med R290 – begge fra Embraco. Generelt er kompressorer med variabelt omdrejningstal dyrere end kompressorer med fast omdrejningstal.

Ud fra datablade på de nye kompressorer laves der kompressorpolynomier ud fra statistisk analyse af de enkelte datapunkter. Med de nye kompressorpolynomier kan ydelse og COP sammenlignes for de forskellige kompressorer.

Resultater

Resultaterne fra den matematiske model er beskrevet i underafsnittene nedenfor.

Lavemissionsbelægning

Ud fra beregning med en glaslåge med enkeltrude og lavemissionsbelægning med en emissionsfaktor på 10 % i stedet for den nuværende enkeltrude med en emissionsfaktor på 11,4 % kan det ses, at kuldatabet er lavere for ruden med den nye emissionsbelægning. Kuldatabsberegningerne kan ses i tabellen nedenfor.

Tabel: Kuldatab gennem glaslåge med lavemissionsbelægning

	Kuldatab m. omrøring	Kuldatab v. stillestående luft
Enkeltrude m. $\varepsilon = 11,4 \%$	93,1 W	25,6 W
Enkeltrude m. $\varepsilon = 10 \%$	91,9 W	23,7 W

Det kan ses af tabellen, at den nye emissionsbelægning vil medføre et lidt lavere kuldatab gennem glaslågen – både når der beregnes med omrøring i den kolde luft, og når luften beregnes som stillestående.

Effekt af is- og rimopbygning

Den opstillede model for beregning af effekten af tilrimning af frysekummens vægge viser, hvordan fordamningstemperaturen ændres med tilrimning af frysekummen. Det samlede varmeovergangstal fra frysekummen til det kogende kølemiddel er beregnet således:

$$UA_{total} = \frac{1}{\left(\frac{1}{UA_{luft}} + \frac{1}{UA_{rim}} + \frac{1}{UA_{is}}\right)} = \frac{1}{R_{total}}$$



Det tages ikke højde for varmeovergangstallet fra det kogende kølemiddel, da det antages væsentligt større end de andre bidrag. Det kan dog bestemmes ud fra tests. Bidragene fra rim og is antages som varmeledning således:

$$UA_{rim} = A_{tilrimmet} * \frac{k_{rim}}{x_{rim}}$$

Hvor k er varmeledningsevnen i [W/mK], og x er tykkelsen af rimlaget i [m].

Den nye fordampningstemperatur beregnes i forhold til kuldeydelsen fra fordampneren i afrimet tilstand, hvor bidragene fra tilrimning medtages i det samlede varmeovergangstal, og kuldeydelsen holdes konstant.

I et tilfælde med opbygning af 5 mm is og 5 mm rim ovenpå (samlet 1 cm) regnes den nye fordampningstemperatur til -41,6 °C mod tidligere -35 °C.

Natdækning

Effekten på kuldatabet gennem glaslågen, når natdække er påført, viser, at kuldatabet kan reduceres betydeligt. Det er antaget, at tykkelsen på natdækket er 10 cm og består af en flamingoplade, og rumtemperaturen af omgivelserne er 30 °C. Udvendige konvektionsbidrag er ignoreret, da de er væsentligt større end varmeovergangstallet gennem flamingopladen.

Kuldatabet gennem glaslågen ved brug af natdækning giver 8,7 W med omrøringsbidrag og 6,8 W ved bidrag fra stillestående luftlag i frysekummen mod 25,6 W kuldatab uden natdækning af glastruden.

Nye kompressorer

Der er beregnet COP på de nye foreslåede kompressorer for at sammenligne deres ydelser med den nuværende kompressor. Kompressorerne sammenlignes ud fra, at de skal levere den samme kuldeydelse i drift.

Kuldeydelsen beregnes fra døgnenergiforbruget målt ved test på Teknologisk Institut. Døgnenergiforbruget er målt til 2,483 kWh pr. døgn ved 30 °C omgivelser. Elforbruget til ventilatoren fraregnes døgnenergiforbruget, hvormed elforbruget til kompressoren er bestemt til 123,7 W, når den driftes. Fra analyse af kompressorens datablad er kuldeydelsen bestemt til 128,8 W i drift. Kompressorernes ydelse og COP er sammenlignet ved en fordampningstemperatur på -35 °C og en kondenseringstemperatur på 50 °C. Resultaterne ses i tabellen nedenfor.



Tabel: Kompressorydelse i drift for forskellige kompressormodeller

	Nuværende	Ny1 - FS R600a	Ny2 - VS R600a	Ny3 - VS R290
	NLE15KK.4	EGX110CLC	VESD11C	VESA7U
Q_cool [W]	128,8	128,8	128,8	128,8
Power [W]	123,7	88,3	105,1	87,6
COP	1,04	1,46	1,23	1,47

Det springer i øjnene, at EGX110CLC har en markant bedre COP end den nuværende model fra Secop. Begge kompressorer er med fast omdrejningstal. VESA7U er med variabelt omdrejningstal og med kølemiddel R290 (propan) og viser den bedste ydelse.

Diskussion

Det kan diskuteres, hvor meget fordampningstemperaturen falder ved tilrimning af frysekummen. Det antages nemlig, at kuldeydelsen er konstant. Gangtiden på kompressoren forlænges, når fryseren tilrimes, eftersom der går længere tid, inden temperatursetpunktet nås. Dette fører til, at fordampersens kuldeydelse forringes, hvilket betyder, at fordampningstemperaturen ikke sænkes lige så meget, som det beregnes i modellen.

Brugen af natdækning viser et stort potentiale for at opnå energibesparelser, når iscremefryseren ikke er i brug. Spørgsmålet er dog, hvordan man får lavet en løsning, der er nem at bruge for ejeren, da det formentlig ikke er en holdbar løsning at skulle opbevare og flytte en plade isoleringsmateriale hver morgen/aften. En mulighed kunne være at undersøge et isolerende gardin, som kendes fra åbne kabinetter i supermarkedet.

Konklusion

Nedenstående Tabel viser en oversigt over forbedringspotentialer for iscremefryserens energiforbrug – og i sidste ende dens energimærkning. Kuldetabet estimeret fra den matematiske model viser, at der beregnes et lidt større kuldetab, end hvad der er målt – nemlig 97,5 W beregnet mod 94,0 W målt. Forskellen mellem det beregnede og det målte angives som kuldebroer, som er svære at beregne størrelsen af. I dette tilfælde er det beregnede kuldetab større end det målte.

Det virker oplagt at undersøge, om en anden kompressor giver en bedre COP i en ny prototype af iscremefryseren, hvad enten det er en med fast eller variabelt omdrejningstal. Ved at skifte kompressor til EGX110CLC og fjerne ventilatoren i kompressorrummet grundet forbedret ydeevne og mindre varmetab vil iscremefryseren muligvis få en forbedret energimærkning. Den nye lavemissionsbelægning giver en lille smule lavere kuldetab, hvilket også er værd at undersøge nærmere.

De forskellige forbedringspotentialer er listet op i tabellen nedenfor. Løsningen "Realistisk" er dannet ved at tage bidragene fra løsningen uden ventilator, ny lavemissionsbelægning og ny kompressor, da denne løsning giver den største samlede forbedring af energiforbruget, og da den vurderes mulig at



implementere. Denne løsning vil kunne få EEI (energieffektivitetsindekset) ned på 29,6 svarende til energiklasse C.

Tablet: Oversigt over forbedringspotentialer for iscremefryserens energiforbrug

Løsning	Nuværende	Uden ventilator	Lavemissionsbelægning	Natdækning	Ny kompressor	Realistisk
Kuldetab – overflader [W]	71,9	71,9	71,9	71,9	71,9	71,9
Glasrude [W]	25,6	25,6	23,7	18,1	25,6	23,7
Samlet – gns. [W]	97,5	97,5	95,6	89,9	97,5	95,6
Elforbrug pr. døgn [kWh/d]	2,483	2,186	2,125	2,0	1,535	1,505
Kuldeydelse – gns. [W]	94,0	94,0				
Kuldebroer [W]	-3,5	-3,5				
EEI [-]	48,8	42,6	41,8	39,3	30,2	29,6
Klasse	D	D	D	D	C	C



4. Langtidstest

Der blev udført en langtidstest i foråret og sommeren 2021, hvor der skete en stor rimopbygning i fryseren. Formålet var at se, hvad det betyder for energiforbruget. Opfattelsen var, at forbruget ville stige, fordi der blev dannet en termisk barriere mellem fordamperrørene og indholdet i fryseren, hvilket medfører en lavere fordampertemperatur og dermed et højere energiforbrug.

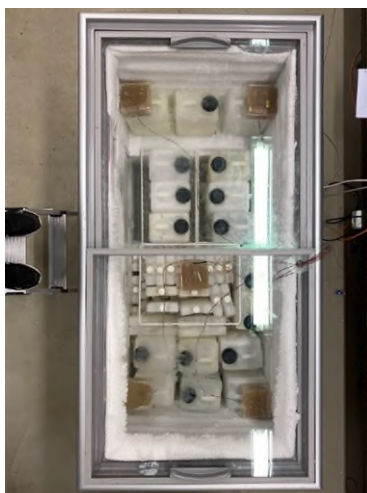
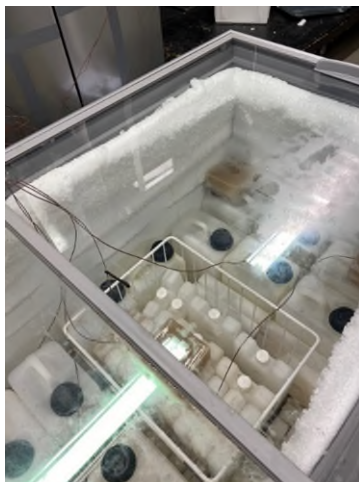
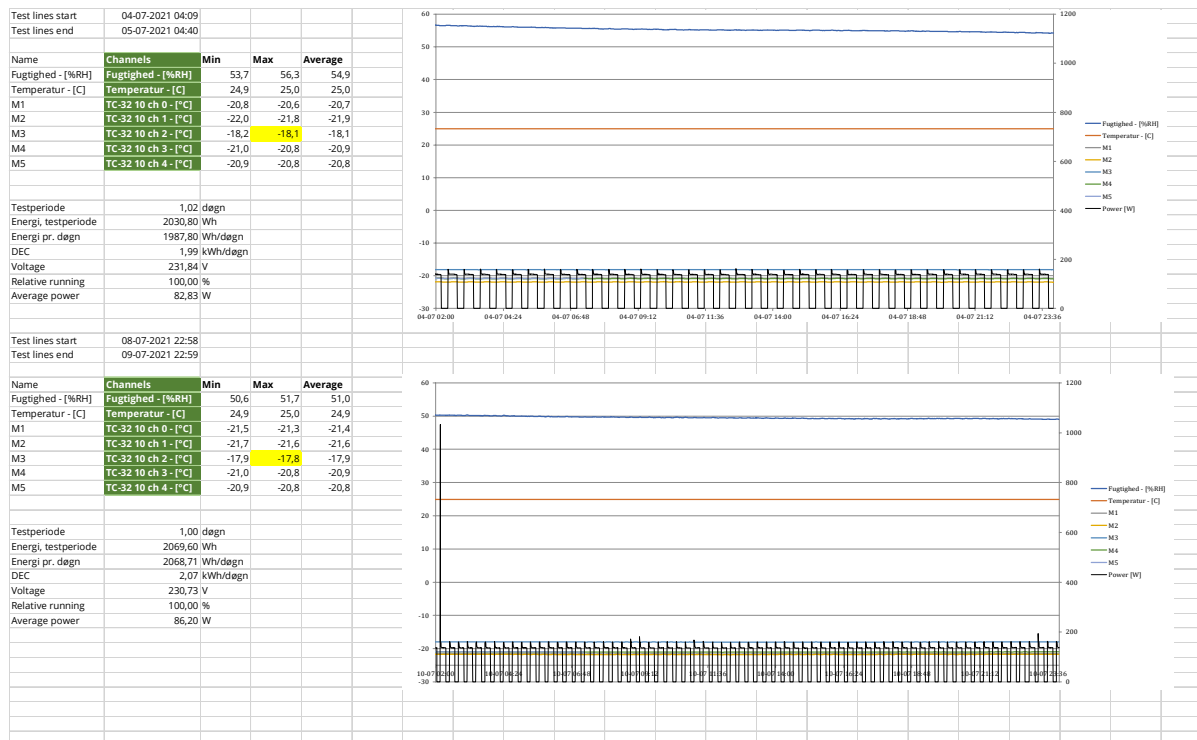


Foto af basismodellen under langtidstest.

I begyndelsen af juli 2021 blev energiforbruget målt med rimopbygningen, og derefter blev fryseren afrimet, og der blev foretaget en ny test.



Figur: Resultater af langtidstesten.

Stor var overraskelsen, da der blev målt et marginalt større energiforbrug for den afrimede fryser. Det kan måske forklares ud fra dynamiske effekter. Kompressorens køretid er højere i testen med isopbygning sammenlignet med den afrimede fryser. Herved sker der en oplagring af "kulde" i isen, og det er med til at gøre systemet lidt mere effektivt. Endvidere medfører de mange start/stop for den afrimede fryser et relativt større tab.

Man skal nok passe på med at konkludere for kraftigt på denne test.



5. Koncept for prototype og test af denne

På baggrund af resultaterne fra beregningerne i kapitel 3 blev det besluttet at anskaffe kompressoren EGX110CLC fra Embraco. Denne har en signifikant bedre COP sammenlignet med den eksisterende kompressor. Den har stort set samme størrelse og ydelse som den eksisterende kompressor og kan (som udgangspunkt) benyttes i prototypen uden andre ændringer.

Test med ny kompressor

Elcold fremstillede en ny iscremefryser med denne kompressor, og den blev sendt til Teknologisk Institut til test i klimakammer.

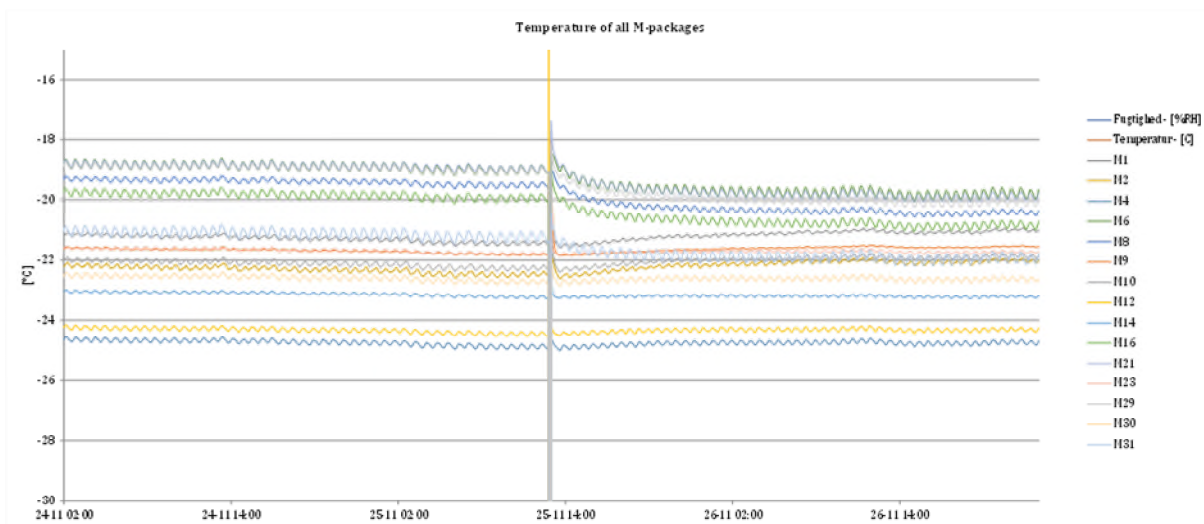
Energiforbruget blev nu målt til 1,874 kWh/dag. Det er 24,5 % mindre end for basismodellen. Det er en signifikant besparelse. Energieffektivitetsindekset (EEI) er 36,8 %, og det er (stadig) i energiklasse D, men tæt på grænsen til energiklasse C. Se tabel i kapitel 3.

Test med super-lavemissionsglas

I slutningen af projektet kom Teknologisk Institut i kontakt med Mr. Pascal Chartier fra udviklingsafdelingen hos Saint Gobin i Frankrig. De var ved at udvikle nye super-lavemissionsglas til glaslåger til kølemøbler (med emissiviteten 0,03 ifølge Saint Gobain), og i den forbindelse lovede de at levere prøver til nærværende projekt.

Disse prøver blev leveret til Elcold i efteråret 2021. Glasset var (af Saint Gobin) skåret til i dimensioner, som var defineret af Elcold. Elcold monterede glasset i deres rammer, og et sæt glaslåger blev sendt til Teknologisk Institut, som monterede de nye låger på prototypen med den nye kompressor.

Resultatet var meget positivt. Man kunne straks se på temperaturerne i fryseren, at der skete en forbedring, idet temperaturerne af testpakkerne ændrede sig – især i den øvre del af fryseren. Temperaturforskellen mellem de enkelte testpakker indsnævrede sig, og der måtte en ny termostatindstilling til for at ramme en maksimal pakketemperatur på -18°C .



Figur: Test af prototypen imens glaslågerne blev ændret fra de originale til de nye glaslåger med lavemissionsglas. Man ser en tydelig effekt i temperaturen af testpakkerne – især i den øvre del af fryseren.

Den nye test viste et energiforbrug på 1,579 kWh/døgn. Dette er en besparelse på 15,8 % i forhold til prototypen med den nye kompressor. EEL er 31,0 %, og det er energiklasse C.

Den samlede energibesparelse i forhold til basismodellen er 36,4 % (fra 2,483 kWh/dag til 1,579 kWh/dag).

Test 1 – Volume				
	Test results	Declared by manufacturer	Deviation %	**Meet requirements
Net volume, [litres], rounded to nearest integer	343	345	-0.6	Yes



<i>Test 2 Energy consumption</i>		
	Normal glass	New sample with low emissivity glass, new thermostat position.
Ambient temperature [°C]	30.0	30.0
Ambient humidity [% Rh]	54.4	54.7
Thermostat position [hh:mm]	2 2/3	2 ¼
Highest temperature [°C]	-18.6	-18.7
Average temperature [°C]	-21.4	-20.8
Energy consumption [Wh/24h]	1897.7	1601.9
Adjusted energy consumption [Wh/24h] (a)	1874.3	1578.9
Energy saving compared to normal glass Glazing [%]	0.0	15.8

(a) The adjusted energy consumption is calculated from the following formula
(Energy consumption / (ambient temperature-highest temperature)) x 48K

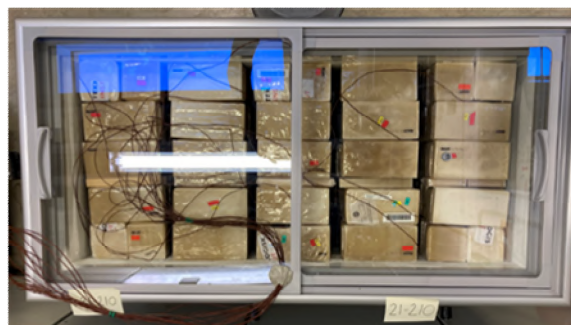
Tabeller med resultatet af test af prototypen med normalt glas og med super-lavemissivitetsglas.



Figur: Prototype med de nye super-lavemmissionsglaslåger i klimakammer under test.



Elcold freezer



Loading for test

NO: 53450547 TYPE: NOVA 45
VOL.BR.
Volt: 220-240 Watt: 203 Amp: 4 Hz50
FREEZ.CAP: kWh/24h. 0
CLASS CC.4 R600A 80GR.
TEMP.RISE TO 0 C IN 0 HOURS
FUSE RATING AMP. TM05 08/05
GWP PO115733.1
CO2-equivalent 0T
This is hermetically sealed equipment



NOVA 45

Made in Denmark by Elcold

ELCOLD
VIDEO
INSTRUCTIONS

The insulation foam is blown using cyclo-pentane (CP).
If the substance R134a or R404a is listed at the rating plate above, the refrigeration system, which is hermetically sealed, contains fluorinated greenhouse gases covered by the Kyoto Protocol.
Please refer to the rating plate for type of gas and quantity.

Rating plate



Compressor

Figur: Fotos af prototypen med ny kompressor og nye glaslåger.



6. Kortlægning af brugeradfærd

Dette arbejde, som er udført af energiantropolog Babette Peulicke Slott, beskriver resultaterne af Arbejdspakke 4 – Indsamling af data til adfærdsstudiet – en leverance fra Teknologisk Institut i forbindelse med de antropologiske indsatser i projektet.

For at minimere energiforbruget yderligere tilføres et antropologisk perspektiv til det ellers tekniske fokus på state-of-the-art-komponenter. Faktorer som natafdækning og tilrimning relaterer sig til brugeradfærd og anvendelsesmønstre. Projektet ønsker derfor at afdække anvendelsen af iscremefrysere i praksis og få et større kendskab til, hvordan brugeradfærd har betydning for salgskølemøblers energiforbrug.

Resultaterne af dette arbejde er beskrevet i notatet 'Kortlægning af brugeradfærd', hvor der er foretaget syv interview. Notatet er vedlagt som bilag til slutrapporten. Her skal fremhæves nogle konklusioner og anbefalinger:

Konklusion

Der er mange faktorer, der spiller ind i anvendelsen af iscremefrysere hos forhandlere, som alle har betydning for potentialet for at energioptimere.

At isproducenterne stiller fryserne til rådighed og dermed har det egentlige ejerskab påvirker forhandlerens oplevelse af ansvar og handlekraft. Det gælder eksempelvis ved anskaffelse, hvor forhandleren ofte selv kan have en interesse i det mest energieffektive produkt på markedet, men ligger under for isproducenternes valg. Dermed er den primære indgang til at udbrede mere energieffektive produkter i forhandlingen mellem isproducenter og forhandlere.

Procedurerne for anvendelse afhænger i høj grad af de enkelte forhandlere, som har forskellige åbningstider, sæsoner og kunder. Det antropologiske studie afdækker særligt en forskel mellem større kæder, hvor ansvaret er centraliseret sammenlignet med mindre, selvstændige virksomheder, hvor ansvaret ligger tættere på ejeren. Det kan derfor give mening at tilbyde forskellige produkter til disse to grupper.

Energiforbrug er en faktor, som generelt har stor bevågenhed. Udfordringen er, at det faktiske forbrug forekommer brugerne abstrakt, og besparelspotentialet er derfor uklart. Oftest forbindes energiforbrug med økonomi. Hierarkisk placering er også af betydning for motivationen for at energioptimere. Jo tættere på ledelsesslag og beslutningskraft, jo større motivation. Den mindre, selvstændige forhandler er derfor i større grad villig til at implementere nye initiativer end en mellemløber eller ansat i en større organisation.



Salg er i sagens natur omdrejningspunktet for forhandlerne. Et nyt, energieffektivt produkt må derfor ikke påvirke salget negativt. Denne faktor har større betydning, jo større en organisation der er tale om. De mindre, selvstændige forhandlere er mere risikovillige, hvis de kan se et besparelspotentiale.

Der er potentiale for, at design af iscremefrysere kan opdateres, så det i højere grad kan indgå i salg og anvendelsesmønstre hos forhandlerne. Hvis antagelsen, om at en fyldt fryser sælger mere, er korrekt, kan det være en fordel ikke at have glaslåger, hvis fryseren er halvtom og eventuelt også tilrimet. Samtidig er det en tilbagevendende udfordring, at de generiske skilte med is ikke svarer til det reelle udvalg hos forhandleren. Endelig er løsningen, hvor lågerne skal lukkes manuelt, udfordrende – både i forhold til corona og tilrimning.

Anbefaling 1 – Konkretiser besparelspotentiale

Det anbefales at konkretisere besparelspotentialet ved energieffektive iscremefrysere. Forhandlerne efterspørger et konkret grundlag at forhandle ud fra, da energiforbruget på nuværende tidspunkt fremstår abstrakt.

Anbefaling 2 – Implementér natafdækning

Det anbefales at implementere natafdækning som en del af iscremefryseres design. Forhandlerne har i forvejen faste rutiner og procedurer ved nedlukning, som natafdækning kan indgå naturligt i. Det gælder særligt, hvis besparelspotentialet ved at udføre det er tydeligt, og at processen ikke er tidskrævende. Dette underbygges af, at det i undersøgelsen blev afdækket, at natafdækning allerede eksisterer på eget initiativ af forhandlerne.

Anbefaling 3 – Tilbyd valg mellem glaslåger og faste låger

Det anbefales at tilbyde en iscremefryser med faste låger i stedet for glaslåger. Dette har flere årsager. For det første kan en tilrimet og halvfylt fryser potentielt påvirke salget negativt. Faste låger kan fungere som en platform for markedsføring, der altid viser produkterne på en optimal måde. Samtidig kan låger med mulighed for fleksibel tilpasning af markedsføringen sikre, at det rent faktisk afspejler det reelle udvalg af produkter. For mindre, selvstændige forhandlere er risikovilligheden større, og denne målgruppe ville i højere grad være positiv overfor at anvende et nyt produkt, hvis der er tale om en markant forøget energieffektivitet. Større kæder kan stadig tilbydes den konventionelle model med glaslåger.

Det bør overvejes, om der kan designes en løsning, der ikke kræver, at man manuelt lukker lågerne. Dette er relevant både i forhold til tilrimning og corona-situationen.

Isproducenternes medarbejdere, som er ansvarlige for at opstille og reparere fryserne, kan spille en aktiv rolle i implementeringen af en ny type fryser. Disse ses som autoriteter på området og kan derfor fungere som ambassadører.



7. Konklusion og diskussion

Kølesystem og effekten af glas-låger er blevet undersøgt i en iscremefryser fra Elcold.

Der blev opnået en energibesparelse på 24,5% ved at benytte en ny mere effektiv kompressor til det naturlige kølemiddel R600a (isobutan). En del af besparelsen kommer fra, at det ikke er nødvendigt at benytte ventilator til afkøling af kompressoren.

Ved at installere nye glaslåger med super-lavemissionsbelægning på undersiden blev energiforbruget reduceret med yderligere 15,8% ift. prototypen med optimeret kompressor.

Når man benytter vandrette glaslåger, dannes et stillestående luftlag under glasset, og dette virker som en ekstra isolering.

Det totale energiforbrug blev reduceret fra 2,483 kWh/dag til 1,579 kWh/dag, hvilket er en besparelse på 36,4%. Energieffektivitetsindekset (EEI) er reduceret fra 48,8% (energiklasse D) til 31,0% (energiklasse C).

Der er beskrevet tre anbefalinger (i forbindelse med brugeradfærd), som kan begrænse energiforbruget: konkretiser energibesparelspotentialet, implementer natdækning og tilbyde valg mellem glaslåger og faste låger.

State of the art iscremefrysere benytter i dag glaslåger med levemissionsbelægning med en emissivitet på ca. 0,11. I projektet er det lykkedes at skaffe nye glaslåger med super-lavemissivitet på 0,03; - og det viser sig ved vandrette låger at isolere så godt, at det svarer næsten til fast låg på grund af det stillestående luftlag og den meget begrænsede varmestråling fra glasset til fryserens indre.

Gennem de sidste 15 år har der været en tendens til, at der benyttes kurvede glaslåger, fordi disse formodes at fremme salget af iscreme. Indførelse af EU's energimærkningsordning kan medvirke til, at denne tendens i nogen grad rulles tilbage, idet det er nemmere at opnå god energiklasse, når der benyttes vandrette låger.

Prisen for den nye kompressor er ca. 20% højere end for den tidligere kompressor. Til gengæld spares ventilatoren.

Merprisen for det nye glas kendes p.t. ikke.



8. Bilag

Energiantropologisk studie

Testrapport for basismodellen (testrapport 20-250)

Testrapport for prototyper med standardglas og med super-lavemissionsglas (testrapport 21-210)

Paper til Gustav Lorentzen-konference i Trondheim, juni 2022.



TEKNOLOGISK
INSTITUT