



Notat

Isolering af køle- og frostrum

Titel: Notat - Isolering af køle- og frostrum

Udarbejdet for:

Niels Bruus Varming
Energistyrelsen
Amaliegade 44
1256 København K

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 2
2630 Taastrup
Energieffektivisering og Ventilation

November 2013

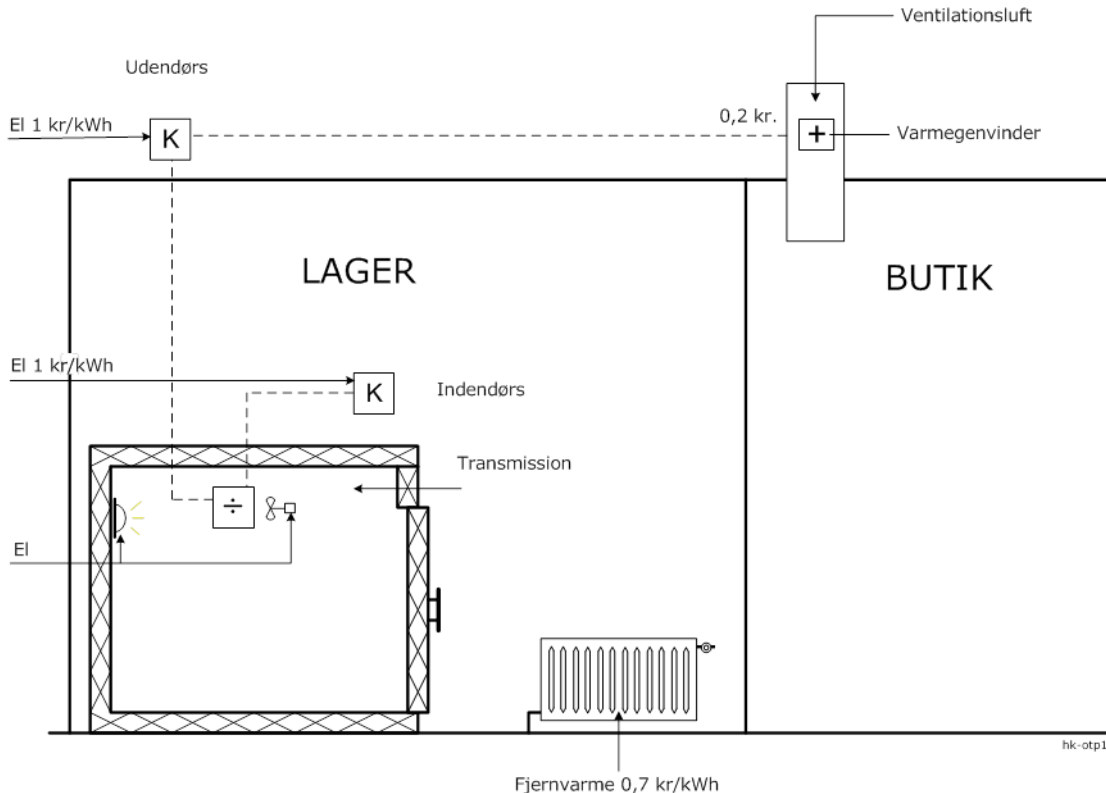
Forfatter: Søren Draborg, Otto Paulsen

Indholdsfortegnelse

1	Indledning og afgrænsning af opgaven.....	4
1.1	Nuværende krav i BR og krav i ECO direktivet.....	5
1.2	Køleteknik og COP	6
1.3	Vurdering af andre termiske belastninger	7
1.4	Gængs dimensionering af kølerum.....	8
1.5	Energipriser	8
2	Beregningsmodel.....	8
3	Parameteranalyse.....	10
3.1	Indflydelse af arealforbrug til isolering	10
3.2	Frostrum ved -24 °C.....	11
3.3	Kølerum ved +2 °C.....	15
4	Sammenfatning.....	18
5	Potentialevurdering.....	19
6	Anbefalinger	20
7	Referencer.....	21

1 Indledning og afgrænsning af opgaven

I henhold til opgavebeskrivelsen er opgaven begrænset til isolering af "Walk in" kolde rum.



Figur 1 - Model for kølerum.

Der tages udgangspunkt en fysisk model som på figur 1.

Placeringen af køle/frostrummet er forudsat indendørs, mens køleanlægget kan være placeret udendørs eller indendørs. Ved udendørs placering kan der være anvendt varmegenvinding fx til opvarmning af ventilationsluft i et tilhørende butikslokale.

Af andre krav vedrørende køle/frostrum, der kunne komme på tale, ref. 1 og ref. 2., er krav til køleanlæggets COP, ventilatorernes elforbrug, belysning i kølerum og anvendelse af opslidsede gardiner ved døren. Den sidste er i øvrigt en meget effektiv foranstaltning, ref. 2.

1.1 Nuværende krav i BR og krav i ECO direktivet

Der findes pt. ikke krav om isolering af kølerum i bygningsreglementet. Der henvises til DS 452 vedrørende isolering af tekniske installationer, og i denne er der ikke energikrav, der passer til kølerumsisolering.

Der er heller ikke færdige og vedtagne krav i forbindelse med ECO direktivet. Der er udført det store Preparatory Study, ref. 2 og der er i 2013 kommet forslag til energikrav og labelling, ref. 4.

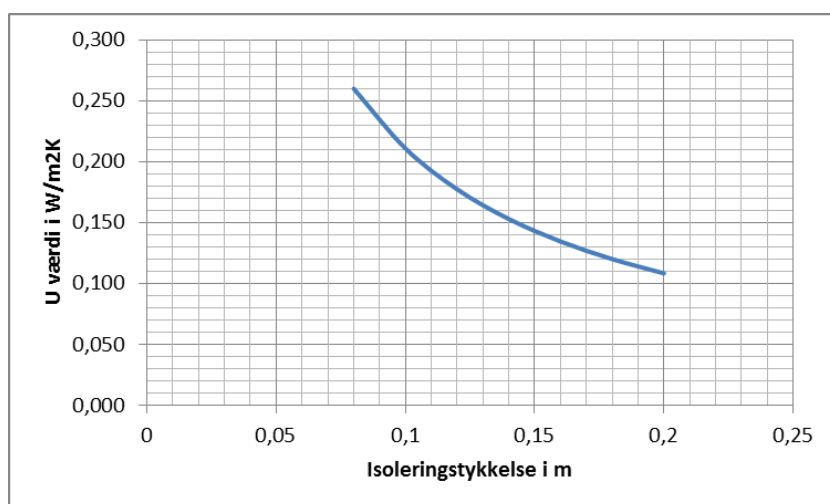
I denne sammenhæng er det væsentligt at nævne, at forslagene undtager på stedet opbyggede (one-off-) kølerum, idet det her forudsættes, at mindre køle/fryserum kan laboratorietestes. Ref. 9 og 10 er nævnt som standarder, der kan tilpasses til formålet. Der går her ud fra, at anlægget er en helhed, hvor der for eksempel kan foretages et valg mellem god isolering og et godt køleanlæg.

De modelberegninger, der foretages her, vil være rettet mod isolering af større skræddersyede kølerum, men beregningerne af den mest økonomiske isolering vil også være retningsgivende for mindre anlæg. Der er således tale om en slags suboptimering, men i dette tilfælde skønnes dette at give god mening.

I ref. 1 er foreslået følgende krav til isolering af kølerum:

Vægge lofter og døre: max U værdi $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ for kølerum og $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ for frostrum. Dertil nogle regler for massive og for gennemsigtige døre.

Dette svarer til ca. 80 mm tykkelse for kølerum og ca. 100 mm isolering for frostrum.



Figur 2 - Sammenhæng mellem isoleringstykkelse og U værdi for væg i stillestående luft. Lambda værdier for isoleringsmaterialet er sat til 23 mW/mK , som er en typisk værdi for PUR og PIR skum i konstruktioner, hvor opskummingsgassen ikke kan komme væk.

1.2 Køleteknik og COP

Der anføres i ref. 1 en række forbedringer, der kan foretages i forhold til det gennemsnitlige anlæg (base case). Bemærk at der anføres en relativt stor besparelse ved forbedret isolering. Men bemærk specielt at der forudsættes en stor besparelse ved opslidsede gardiner i dørene og automatisk dørlukning.

Køleanlægget elforbrug bestemmes af anlæggets COP. Reference 5 anfører, at der er stor spredning i praksis på hvor godt anlæggene opbygges og vedligeholdes. Videre anføres at selv ved udendørs placering af kondensatoren er ikke en meget stor forskel i COP over året. Dette skyldes, at der er begrænsninger i hvor lav kondenseringstemperaturen kan blive i praksis. Det skønnes således til denne opgave tilstrækkeligt at regne med en sommer COP og en vinter COP. Til gengæld skelnes mellem store og små anlæg, dvs. (gode og mindre gode anlæg).

	Frost			Køl		
	sommer 92 døgn	vinter 273 døgn		sommer 92 døgn	vinter 273 døgn	
små	0,8	0,8	< 3 kW	2	2	< 1,5 kW
store	1,5	2	> 3 kW	2,5	3	> 1,5 kW

Tabel 1 - Antagne værdier for COP for store og små frost- og køleanlæg

I de efterfølgende beregninger er der forudsat at elforbrug til ventilatorerne ved fordampere og kondensator samt til automatik er indeholdt i de angivne COP.

1.14 DESIGN OPTIONS

Identified energy saving potentials for the walk-in cold room Base Case.

	Improvement option	TEC savings compared to Base Case (%)	Increase of product price compared to Base Case (€)	Payback time (years)
Option 1	Strip door curtains	13%	70	0.37
Option 2	Auto door closer	12%	111	0.63
Option 3	PSC evaporator fan	10%	100	0.69
Option 4	ECM evaporator fan	13%	150	0.79
Option 5	High efficiency fan blades	3%	50	1.14
Option 6	Insulation thickness	15%	250	1.14
Option 7	ECM condenser fan	3%	60	1.37
Option 8	R134a to replace R404a at HT, and R410a to replace R404a at LT	0%	0	0.00
Option 9	High efficiency LED light bulbs	4%	200	3.43
Option 10	Floating head pressure (plus electronic expansion valve)	8%	150	1.29
Option 11	Ambient subcooling	4%	170	2.91
Option 12	High efficiency compressor	5%	200	2.74
Scenario A	Incorporates options 1+3+5+6+7	37%	530	0.98
Scenario B	Incorporates all options 2+4+5 to 12	48%	1,341	1.92
Weighted real BAT improvement	As described in Task 5, this product includes R134a/R410a	35%	1,760	3.45

Tabel 2 - Fra ref. 2. Der anføres en stor besparelse ved at forbedre isoleringen

Der er også et væsentligt besparelspotentiale ved at forbedre selve køleanlægget, se option 8, 10, 11 og 12 i Tabel 2. Det anføres dog, at der endnu ikke er egnede standarder til test af køleanlæg til dette formål.

1.3 Vurdering af andre termiske belastninger

Der er taget udgangspunkt i et rum med indvendige mål på 4 x 4 m og 2,4 m til loftet.

De væsentlige belastninger er transmissionstabet og tab ved døråbning. Hvis der ikke er opslidset gardin vil dør-varmetransmission – afhængigt af brugen- blive dominerende for kølebehovet.

I ref. (1) foreslås anvendelse af opslidsede gardiner ved døren.

Ventilatoreffekt til cirkulation i fordampere vil typisk være – afhængig af lufthastigheder og fordampertype - 50 til 100 W. Belysning vil typisk være 80 – 120 W.

Transmissionstabet for et frostrum inkl. gulv er 700 W ved 80 mm isolering og ca. 400 W ved 200 mm isolering.

I ref. 1 foreslås krav til motortype (anvendelse af PSC eller ECM motorer med permanentmagneter), samt til anvendelse af LED belysning.

1.4 Gængs dimensionering af kølerum

Reference 8 og 11 anfører en almindelig tommelfinger regel:

- Kølerum 80 mm isolering
- Frostrum 120 mm isolering
- Mere isolering ved store rum

Den sidste kan diskuteres, idet COP må antages bedre ved store anlæg.

1.5 Energipriser

Til beregning af økonomi ved forbedring af køle/frostrum forudsættes følgende energipriser:

El pris kr./kWh	0,93
Fjernvarmepris kr./kWh	0,7
Afgift på varmegenvundet varme kr./kWh	0,19

Tabel 3 - Energipriser ex moms for økonomiberegning.

2 Beregningsmodel

I den fysiske model tages udgangspunkt i figur 1 og som nævnt regnes på tre scenarier:

Der er taget 3 situationer i betragtning.

1. Hvis køleanlægget er placeret indendørs bliver al eleffekt tilført rummet som varme. I almindelighed vil en del af denne varme blive nyttiggjort og der vil spares et varmeindkøb, i dag typisk af fjernvarme.
2. Hvis køleanlægget er placeret udendørs vil kølerummet fjerne varme fra opstillingsrummet og denne varme skal da erstattes af et varmeindkøb- typisk i form af fjernvarme.

3. Hvis køleanlægget er placeret udendørs og der er etableret varmegenvinding fra køleanlæggets kondensator, kan kondensatorens varmeafgivelse erstatte et indkøb af fjernvarme. Det forudsættes at denne varmemængde måles og afregnes skattemæssigt.¹

Der foretages en brugerøkonomisk betragtning, ud fra den forudsætning at eventuelle krav ikke må belaste virksomhederne nævneværdigt, ud over hvad de finder økonomisk rimeligt. Og det gælder her at man for kølerum vil vurdere økonomien indenfor et relativt kort åremål, måske 3 – 6 år.

Der er opstillet en del øvrige forudsætninger.

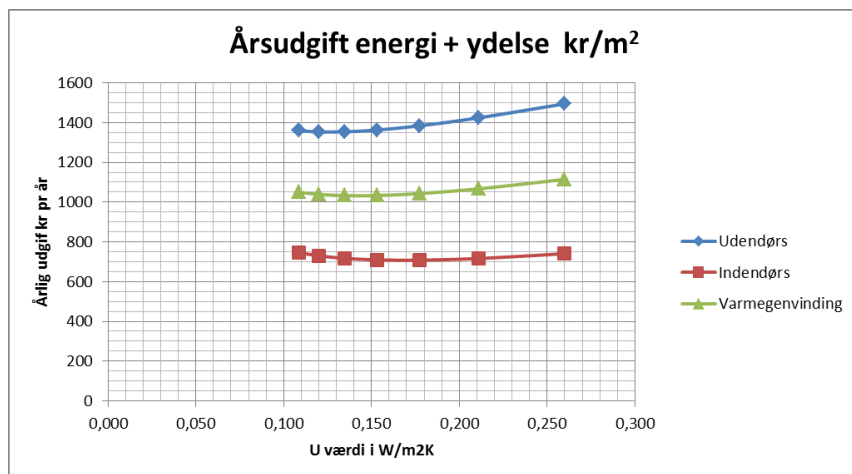
- Der ses bort fra aktuelle skattemæssige forhold. En merinvestering kan fratrækkes via afskrivningsregler og ligeledes kan energiudgifter fratrækkes. Dette går nogenlunde lige op, når investeringen skal vurderes
- Der antages COP som i tabel 1 og priser som i Tabel 3.
- Der antages, at 50 % af varmen fra køleanlægget kan varmegenvindes. Dette afhænger i praksis af de aktuelle forhold
- Der betragtes et tidsperspektiv på 6 år og 4 % rente og der regnes ikke med scrapværdi af anlægget. Anlægget tilbagebetales i løbet af de 6 år ved annuitet i 6 rater
- Pladsen kan være dyr og isolering fylder. Der er antaget en pris for plads på 1000 kr. pr m². ref. 14. Dette aspekt viser sig meget vigtigt, men er ikke medtaget i ref. 2
- Merisolering. Der er antaget en pris på 18 kr./m² pr cm ekstra isolering, Reference 7 og 8
- Varmeledningstallet for isoleringsmaterialet er antaget til $\lambda = 0,023$ W/mK, bestemt efter EN 24509 og isolanserne er antaget svarende til stillestående luft.

Beregningsmodellen er opbygget i excel.

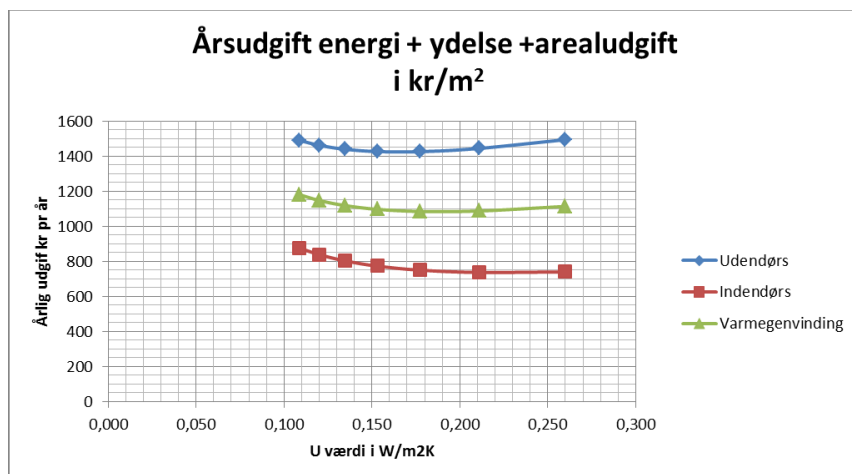
¹ Det er ofte ikke muligt at måle varmemængden og der findes da nogle simple omregninger mellem ventilator-effekt og varme. Men her regnes med at varmemængden måles korrekt.

3 Parameteranalyse

3.1 Indflydelse af arealforbrug til isolering



Figur 3 - Samlede årlige udgifter, når der ikke tages hensyn til at isoleringen fylder (små frostrum). Den optimale U værdi er 0,13, 0,14 hhv. 0,17 W/m²K for de tre typer anlæg.



Figur 4 - Samlede årlige udgifter, når der tages hensyn til at lagerareal koster 1000 kr. pr år (små frostrum). Den optimale U-værdi er 0,16, 0,18 hhv. 0,23 W/m²K for de tre typer.

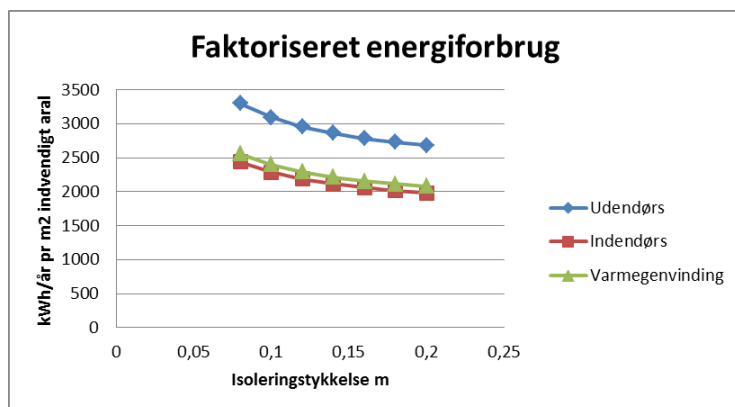
Det ses, at arealudgiften spiller en stor rolle for økonomisk valg af isoleringstykkelse. Det gælder faktisk for kølerum, at udgiften til det ekstra gulvareal kan være større end værdien af energibesparelsen ved at isolere mere. Det ses, at den optimale isoleringstykkelse falder meget, når arealprisen indregnes.

Det gælder dog, at kurverne er meget flade, og at den samlede årlige udgift kun stiger lidt, hvis man isolerer bedre end svarende til den optimale værdi. Hvis man fx antager, at de årlige udgifter må stige med ca. 10 % over den optimale, fås at der kan isoleres med en U værdi så lav som 0,11 W/m²K for de udendørs placerede køleanlæg og ned til 0,12 for de indendørs placerede anlæg.

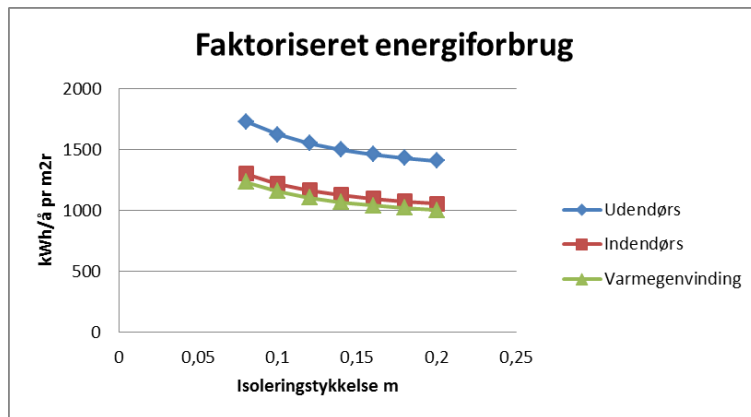
Idet følgende regnes med arealprisen på 1.000 kr. pr år pr m².

3.2 Frostrum ved -24 °C.

Faktoriseret energiforbrug for små og store frostrum. Her er regnet med faktoren 2,5 for el og 0,8 for fjernvarme.



Figur 5 - Faktoriseret energiforbrug for små frostrum i kWh pr år pr m²

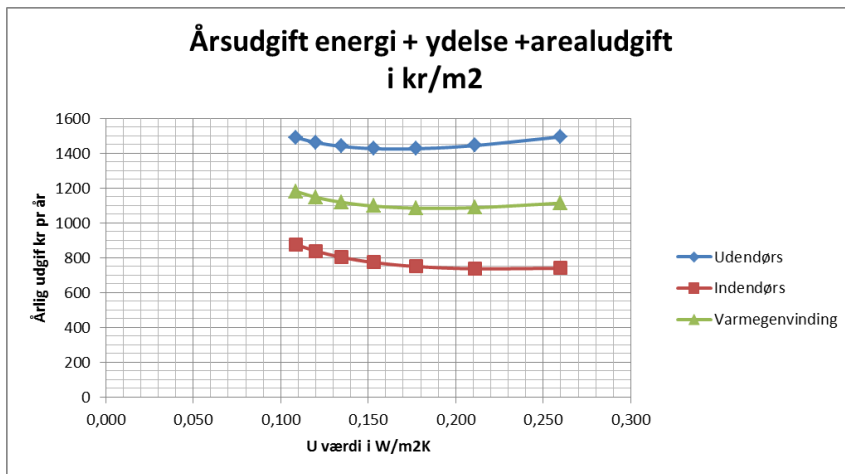


Figur 6 - Faktoriseret energiforbrug for store frostrum i kWh pr år pr m²

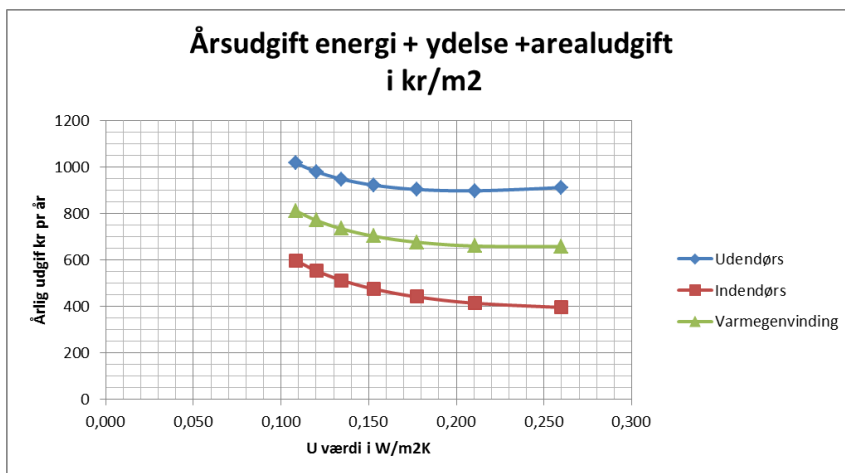
Forskellen mellem store og små frostrum skyldes forskelle i COP. I de sidste ECO dokumenter foreslås, at der indføres energimærkning for små frostrum og der kan sandsynligvis udføres væsentlige forbedringer baseret på dette.

Den årlige omkostning beregnes som summen af energiudgiften (el + fjernvarme regnet med fortegn), annuiteten af investeringen (sat til nul ved 80 mm isolering) og arealudgiften på 1000 kr./år pr m².

Tilbagebetalingstiden beregnes som den simple tilbagebetalingstid *uden hensyntagen til arealudgiften*.

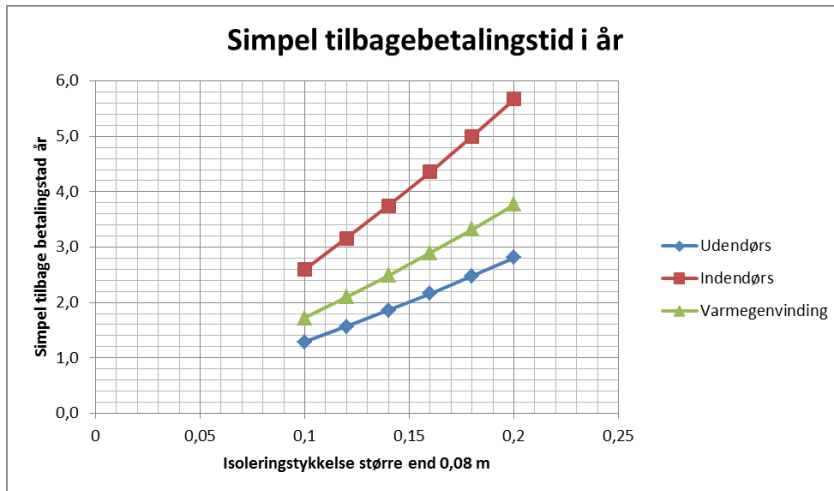


Figur 7 - Samlede årlige udgifter pr m² af små frostrum.

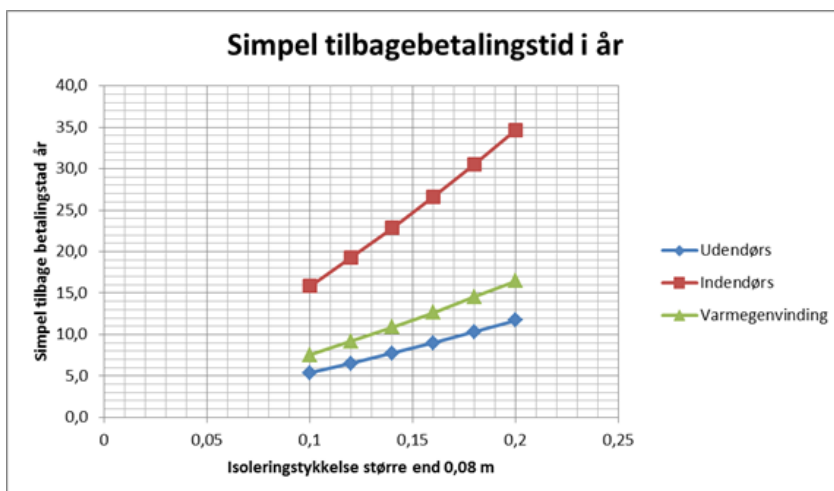


Figur 8 - Samlede årlige udgifter pr m² af store frostrum.

Forskellen mellem små og store anlæg skyldes forskelle i effekt faktoren.

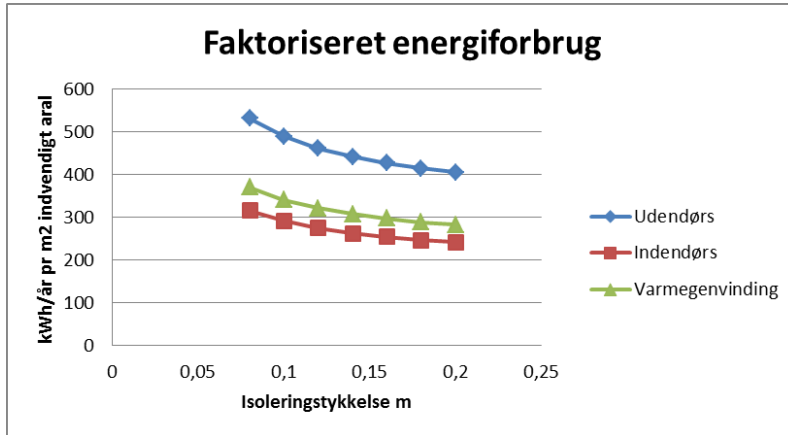


Figur 9 - Små frostrum. Tilbagebetalingstid for isoleringstykkel end 80 mm. Der er ikke taget hensyn til prisen for pladsbehov.

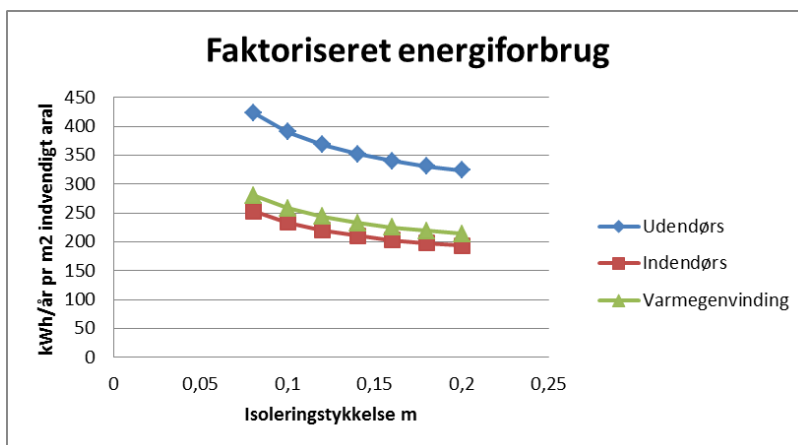


Figur 10 - Store frostrum. Tilbagebetalingstid for isoleringstykkel end 80 mm. Der er ikke taget hensyn til pladsbehov,

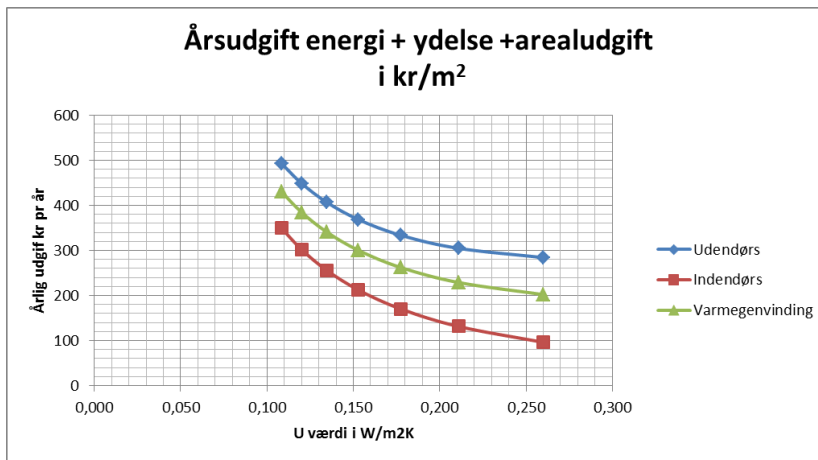
3.3 Kølerum ved +2 °C



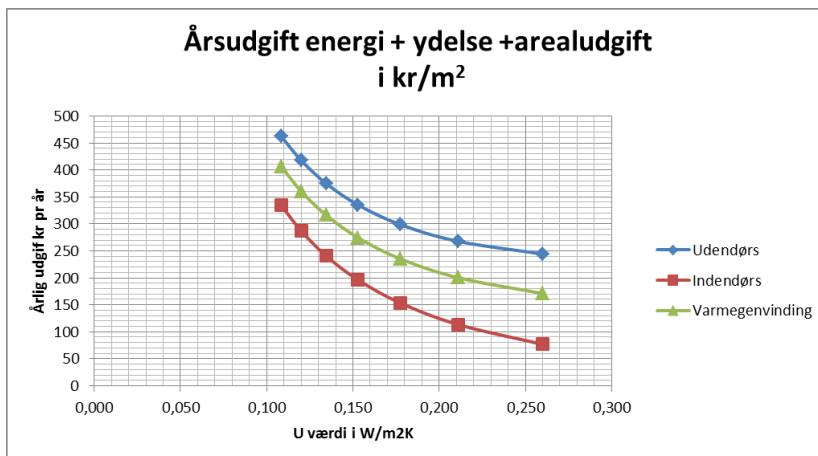
Figur 11 - Faktoriseret energiforbrug til små kølerum.



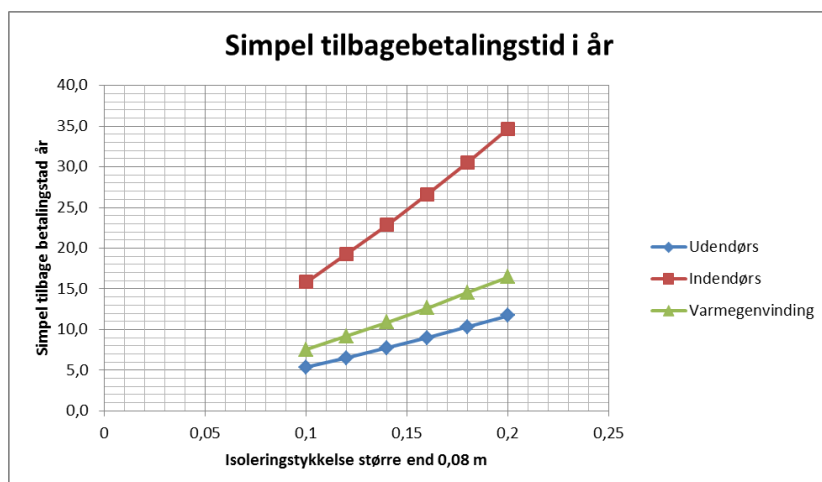
Figur 12 - Faktoriseret energiforbrug til store kølerum.



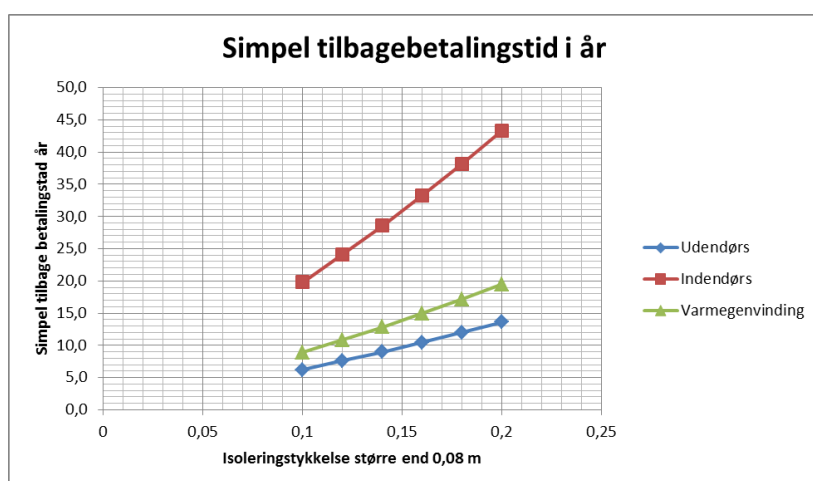
Figur 13 - Samlede årlige udgifter til små kølerum. Den optimale U-værdi er højere end 0,25 W/m²K.



Figur 14 - Samlede årlige udgifter til store kølerum.



Figur 15 - Små kølerum. Tilbagebetalingstid for isoleringstykkelse end 80 mm. Der er ikke taget hensyn til pladsbehov



Figur 16 - Store kølerum. Tilbagebetalingstid for isoleringstykkelse større end 80 mm. Der er ikke taget hensyn til pladsbehov

For kølerum gælder fra Figur 13 og Figur 14, at den optimale U-værdi er højere end 0,25 W/m²K, altså at en isoleringstykkelse mindre end ca. 80 mm kan betale sig. Der kommer dog flere forhold ind, når væg og loftelementer bliver tyndere blandt andet statiske problemer, dimensionering af køleanlæg, indeklimaproblemer mm. Disse forhold betyder, at der nok sjældent anvendes elementer tyndere end de 80 mm.

4 Sammenfatning

Beregningerne af de årlige udgifter viser, at der findes et minimum for frostrum ved en højere isoleringstykkelse end den normale minimumstykkelse på 80 mm, svarende til ca. 0,26 W/m²K. Det ses også at minimum er relativt fladt. Hvis det antages, at en merudgift på op til 10 % kan accepteres, eller betragtes dette som en usikkerhed fås et interval, hvor udgifterne til frostrummet er *rimelige*. For kølerum fås ikke et minimum ved en U-værdi lavere end ca. 0,26 W/mK. Men hvis det antages, at årlige udgifter på max ca. 10 % højere end svarende til denne U-værdi, fås også et interval for acceptable U-værdier. Her er kun aflæst for udendørs og indendørs placering. Der sammenfattet værdier med og uden udgiften til pladsbehov indregnet.

Udendørs placering, ingen varmegenvinding	Optimal U-værdi W/mK	Acceptabelt interval for U-værdi W/mK
Små frostrum	0,16	0,10 - 0,26
Store frostrum	0,22	0,12 - 0,26
Små kølerum	>0,26	0,22 - 0,26
Store kølerum	>0,26	0,23 - 0,26

Tabel 4 - Grænser for U værdier udendørs placering af køleanlæg, med udgift til areal indregnet.

Udendørs placering, ingen varmegenvinding	Optimal U-værdi W/mK	Acceptabelt interval for U-værdi W/mK
Små frostrum	0,08	0,08 - 0,26
Store frostrum	0,16	0,10 - 0,26
Små kølerum	0,22	0,12 - 0,26
Store kølerum	>0,26	0,14 - 0,26

Tabel 5 - Grænser for U værdier udendørs placering af køleanlæg, uden udgift til areal indregnet.

Indendørs placering	Optimal U-værdi W/mK	Acceptabelt interval
Små frostrum	0,24	0,15- 0,26
Store frostrum	>0,26	0,18 - 0,26
Små kølerum	>0,26	0,24 - 0,26
Store kølerum	>0,26	0,24 - 0,26

Tabel 6 - Grænser for U-værdier indendørs placering med udgift til areal indregnet.

Indendørs placering	Optimal U-værdi W/mK	Acceptabelt interval
Små frostrum	0,16	0,10– 0,26
Store frostrum	0,21	0,12 – 0,26
Små kølerum	>0,26	0,21 – 0,26
Store kølerum	>0,26	0,24 – 0,26

Tabel 7 - Grænser for U-værdier indendørs placering uden arealudgift indregnet.

5 Potentiale vurdering

Det har vist sig svært at vurdere potentialet, idet der i Danmark ikke findes en specifik statistik for området. Der tages derfor udgangspunkt i ref. 2, hvor der er foretaget et skøn. Der sælges, ref. 2, se Tabel 8, ca. 100.000 *walk-in cold rooms* i EU. Hvis dette proportioneres med befolkningstallet sælges ca. 1.000 køle/frost rum i Danmark. Det skønnes at den gennemsnitlige størrelse er 15 m². Ca. 30 % af rummene, ref. 16, er frostrum, altså ca. 4.500 m² frostrum pr år. For kølerum vil besparelspotentialet ved at indføre en bestemmelse være meget lille, idet der typisk i forvejen installeres anlæg med en tykkelse tæt på et rimeligt krav.

Der antages derfor, at der installeres 4.500 m² frostrum i Danmark om året.

1.8 MARKET DATA

Estimated sales of walk-in cold rooms and forecast until 2020 in EU (units):

Product type	1990	2006	2007	2008	2012	2020	2025
Walk-in cold rooms	73,481	87,926	88,052	88,289	91,059	99,230	103,522

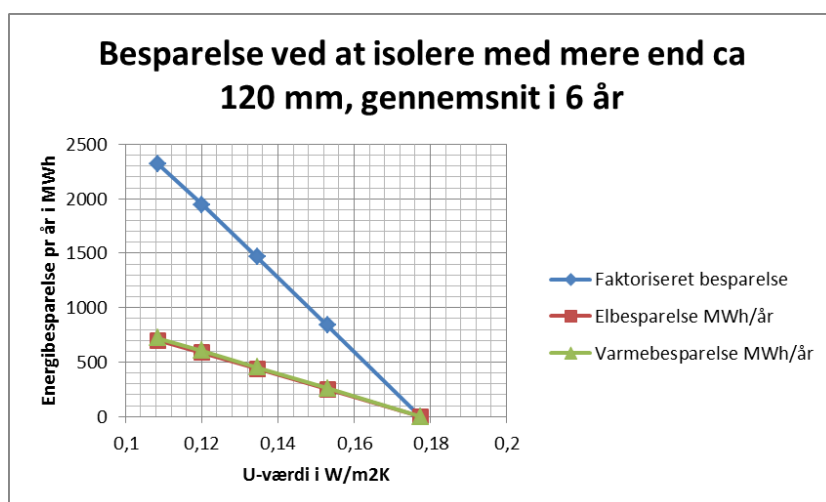
Tabel 8 - Salgstal for køle/frost rum i Europa fra ref. 2, sammenfatningen.

Bestanden skønnes på tilsvarende måde efter ref. 2 til ca. 15.000 anlæg installeret i Danmark.

Der betragtes en periode på 6 år efter et eventuelt krav er gennemført. I de 6 år installeres hvert år 4500 m² frostrum. Heraf antages halvdelen at være forsynet med en uden-dørs kondensator og halvdelen med et indendørs placeret køleanlæg. Hvis der indføres et krav om en max U-værdi skønnes gennemsnitsbesparelsen 6 år at blive som i tabel, se også figur 19.

Max U-værdi for frostrum i W/m ² K	0,15	0,12
Elbesparelse pr år i 6 år MWh/år	941	1946
Fjernvarmebesparelse MWh/år	283	585
Faktoreriseret Energibesparelse	292	603

Tabel 9 - Årlige energibesparelser i 6 år, hvis der indføres krav til U-værdi for frostrum i Danmark.



Figur 17 - Gennemsnitlig besparelse pr år i 6 år efter et krav til isolering af frostrum er gennemført.

Når der er gået 6 år, er der installeret hvad der svarer til godt en tredjedel af den nuværende bestand. Installationerne sker antageligt både som udskiftning i forbindelse med ny butiksindretning, og som egentlige nyanlæg. Det må derfor antages, at der også i de følgende år efter de første 6 år vil blive realiseret et sparepotentiale, der endda er væsentligt større end svarende til de første 6 år som her er betragtet.

6 anbefalinger

Der er foretaget en teknisk/økonomisk vurdering af isolering af køle/frostrum. Den væsentligste parameter er køleanlæggets COP, udnyttelse af spildvarmen og prisen for den butiks- eller lagerplads, som den forøgede isolering optager. Der kan angives et interval for isoleringsgraden, hvor de årlige udgifter til anlægget ikke varierer meget med isoleringstykkelser. Vælges en høj U-værdi fås et lidt billigere anlæg og lidt dyrere drift. Vælges en lav U-værdi fås et lidt dyrere anlæg og en lidt lavere energiudgift. Med generelt stigende energipriser, må det regnes på den sikre side at vælge en lav U-værdi, med mindre det gælder at anlæggets brugsperiode vides at være færre år end de 6 år, der er regnet med her.

Følgende anbefaling er baseret på et gennemsnit af det tilfælde at køleanlægget er placeret udendørs og det tilfælde at køleanlægget er placeret indendørs.

Højeste U-værdi = 0,15 W/m²K (ca. 140 mm isolering) for vægge lofter og gulve (ref. 2: max 0,2 W/mK)

For kølerum

Højeste U-værdi = 0,24 (ca. 90 mm isolering) for vægge, lofter og gulve (ref. 2: max 0,25 W/mK)

7 Referencer

- /1/ Energistyrelsen oversigt vedr. ECO design, se link til WALK IN kølerum nedenfor <http://www.ens.dk/forbrug-besparelser/apparater-produkter/energikrav-produkter/status-lovgivning>.
- /2/ Ecodesign preparatory studie: http://www.ecofreezercom.org/documents_2.php
- /3/ EU oversigt opdateret 14. oktober 2013. Her er forslag til ECO design krav og energimærkning. http://ecee.org/ecodesign/products/cold_appliances
- /4/ ECO-design Working Dokumenter vedr. ECO-design og labelling, se links i ref. 3.
- /5/ Christian Heerup, Teknologisk Institut, Fastlæggelse af typiske COP
- /6/ Cold'or, samtale vedr. konstruktion af kølerum
- /7/ Aalborg Klimateknik: Samtale vedr. Priser for isolering
- /8/ Dankøling A/S: Samtale og tilbud vedr. kølerum med forskellig isoleringstykkelse.
- /9/ EN 441, test kølemøbler
- /10/ EN 13215 test af kondensatoren til køleanlæg
- /11/ Søren Draborg Teknologisk Institut
- /12/ ICE-E programmet, Lars Reinholt, Teknologisk institut. (Indeholder detaljerede beregningsprogrammer for kølerum)
- /13/ Cool Pack. Regneprogram til Køleanlæg, indeholder også beregning af køle/frostrum
- /14/ Samtale med Hardy Mogensen, Supergros.
- /15/ DSEN 14509
- /16/ Samtale med Poul Erik Marvig, Scotsman A/S