



lindab | vi forenkler byggeriet



Loftvarmevejledning

Teori vandvarme



Loftsvarmevejledning

Indholdsfortegnelse

Indledning

Spørgsmål og svar	Side
1. Hvad påvirker den termiske klimaoplevelse?	4
2. Hvordan fungerer loftsvarme?	5
3. Hvornår kan man anvende loftsvarme?	6
4. Hvornår kan man ikke anvende loftsvarme?	7
5. I hvilken højde kan loftsvarme installeres?	8
6. Påvirker loftsvarme ventilationen?	8
7. Bliver der varmt på hovedet?	8
8. Bliver der koldt under bordet?	9
9. Bliver der kuldene-fald ved vinduet?	9
10. Hvilken levetid har Lindab Comforts loftsvarmere?	10
11. Kan loftsvarmeinstallationen forandres med ændret aktivitet?	10
12. Hvilken effekt skal installeres?	11
13. Sparer loftsvarme energi?	12
14. Hvad koster det?	12
15. Kan man genanvende Lindab Comforts produkter?	14

Uddybning

Kapitel	
I. Hvordan mennesker oplever det termiske klima	15
II. Sådan fungerer loftsvarme	17
III. Hvor fungerer en loftsvarmer godt?	21
IV. IV.Konstruktionskrav til en loftsvarmer	22
V. Placering af loftsvarmere	27
VI. Temperatur og påkrævet installationshøjde	29
VII. Effekt og energi	32
VIII. Miljø og genanvendelse	35

Dimensioneringsnøgle

Placering af paneler	37
Installationshøjde og temperatur	39

Hurtige fakta

Hurtige fakta – loftsvarme i en nøddeskal	40
---	----

Loftsvarmevejledning

Indholdsfortegnelse

Vi på Lindab Comfort får ofte spørgsmål, som ikke bare handler om vores produkter, men også om loftsvarme som system og opvarmningsprincipper. Loftsvarme er desværre end noget undervurderet og misforstået opvarmningsform. Men det er tværtimod en meget god opvarmningsform. Aldeles for god til at overlade til sin egen skæbne.

For at give vores kunder og andre interesserede mere information og loftsvarme har vi derfor sammensat denne brochure. Vi håber, at den findes nyttig for både projektledere og kunder, som vil have hurtig information, og for den ambitiøse konstruktør, som vil lære mere om emnet.

I denne brochure, der er bygget op omkring en række svenske og udenlandske referencer, kunders og konsulenters erfaringer og målinger, samt vore egne beregninger og målinger, viser vi, at:

- Loftsvarme varmer rummets flader gennem varme-stråling. Fladerne varmer derefter luften.
- Loftsvarme giver et meget godt termisk indeklima takket være dette faktum.
- Med loftsvarme bliver der hverken koldt under bordet, varmt på hovedet eller kuldenedfald fra vinduet, hvilket mange tror.
- Loftsvarme fungerer i stort set alle typer lokaler, fra store lagerhaller til små børneværelser.
- Loftsvarmesystemet kan let forandres med ændret aktivitet i lokalet. Man behøver ikke tænke på varmesystemet, hvis man forandrer vægge eller gulv.
- Loftsvarme kan kombineres med en hvilken som helst type ventilationssystem.
- Loftsvarme er blandt de mest energibesparende varmesystemer, der findes.
- Loftsvarme har en lav investeringsomkostning sammenlignet med andre systemer. Sammen med et lavt energiforbrug er det et økonomisk system både på kort og lang sigt.
- Lindab Comforts loftsvarmere er 100% genanvendelige. Sammen med det lave energiforbrug er det godt for kommende generationer.

Hvilke andre varmesystemer har alle disse fordele?

Loftsvarmevejledningen er opbygget i tre dele:

- Den første, Spørgsmål og svar, giver korte og forenkledede svar på veldefinerede spørgsmål til den, som ikke vil gå for meget i dybden på problemstillinger.
- Den anden, Uddybning, giver, som navnet antyder, lidt mere kød på benet. Her kræves bl.a. forkundskaber tilsvarende VVS-ingeniør.
- Den tredje, Dimensioneringsnøgle, giver dig, som projekterer loftsvarmesystemer, et hurtigt og enkelt hjælpemiddel i dit arbejde.

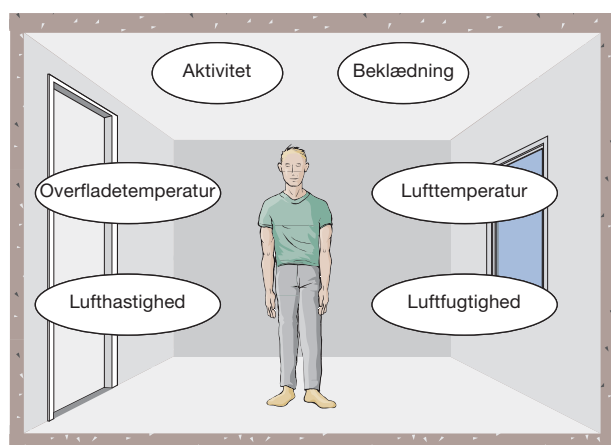
Loftsvarmevejledning

Spørgsmål og svar

Afsnit 1

Hvad påvirker den termiske klimaoplevelse?

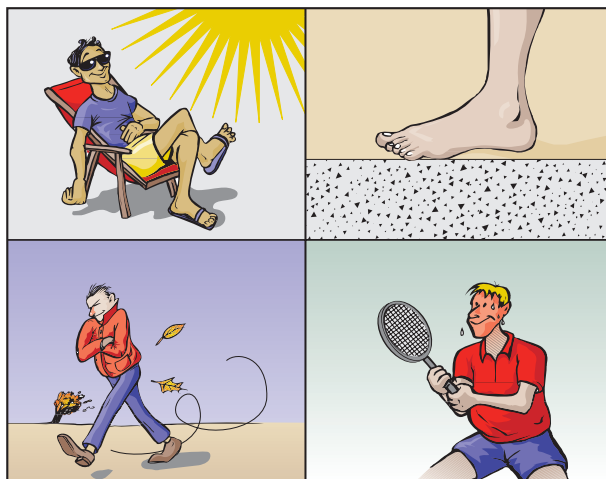
Hvordan vi oplever det termiske indeklima afhænger hovedsageligt af vores samlede varmeudbytte med omgivelserne. Varmeudbyttet påvirkes af den fysiske aktivitet, vores beklædning samt af det omgivende termiske klima i rummet. Det termiske klima kan beskrives ved hjælp af luftens temperatur, hastighed og fugtighed samt varmestrålingsudbyttet med de omgivende flader.



Faktorer som påvirker det termiske klima i rummet.

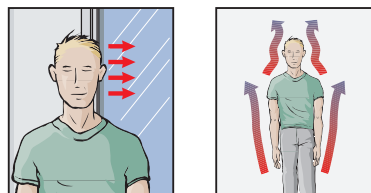
Varmeoverførsel

Varme kan overføres på fire forskellige måder. Stråling, ledning, konvektion og faseomdannelse. Varmestrålingen er det man bl.a. kender fra solen eller en varm kogeplade. Varmeoverførsel gennem ledning oplever man, når man går barfodet på et koldt stengulv. Konvektion kender man fra, når man går barhovedet på en blæsende vinterdag. Til sidst kender man til faseomdannelse, når fugt fordamper fra kroppen, dvs. overgår fra væskefase til gasfase, og huden køles af.



Varme overføres på fire forskellige måder.

Varme overføres dog altid, så snart der er en temperaturforskel mellem to kroppe. En menneskekrop stråler f.eks. hele tiden varme ud til omgivelserne. En hånd eller et ansigt (ca. $+33^{\circ}\text{C}$) afgiver kontinuerligt varme gennem stråling til de omgivende vægge og inventar (ca. $+22^{\circ}\text{C}$), uden at man er direkte klar over det. Varme afgives også gennem konvektion mod hudoverfladen, når luft varmes op i nærheden af kroppen og dermed stiger opad.



Varme afgives altid fra kroppen.

Termisk komfort

Termisk komfort betyder, at en person som helhed oplever, at han/hun befinder sig i termisk ligevægt, dvs. at det hverken er for varmt eller for koldt. Termisk komfort forudsætter desuden, at der ikke forekommer uønsket opvarmning eller nedkøling af en enkelt kropsdel, som f.eks. træk i nakken eller et alt for varmt gulv.

Menneskets væskebalance og følelse af komfort inde i huset påvirkes først og fremmest af:

- Konvektion direkte til omgivende luft gennem hud og lunger.
- Strålingsudbytte med omgivende flader.

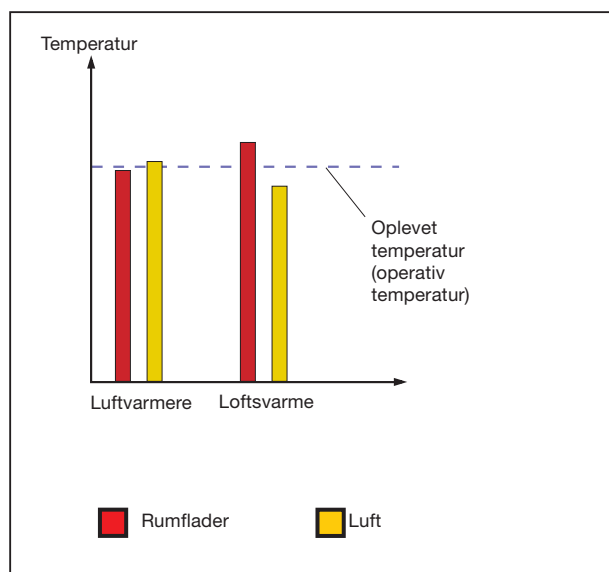
Disse to måder at overføre varme på er næsten lige store ved normale luftbevægelser i et rum. Derfor påvirkes vi næsten lige meget af rumfladernes temperaturer som lufttemperaturen.

Hvis rumfladernes temperatur øges, helt eller delvist, kan lufttemperaturen sænkes lige så meget som den tilsvarende forøgelse af rumfladernes middeltemperatur. Hvis vi f.eks. opvarmer et rum med loftsvarme, får vi en forøget middeltemperatur hos rumfladerne. Mennesket afgiver da en mindre mængde varme gennem stråling til omgivelserne. For at vi ikke skal blive for varme af det, kan kroppen kompensere gennem en øget konvektiv varmeafgivelse til en koldere rumluft.

Dette er baggrunden for, at det er muligt at have en lavere lufttemperatur ved strålingsopvarmning, sammenlignet med konventionel opvarmning, og samtidigt opnå termisk komfort. (Uddybning se kapitel I).

Loftsvarmevejledning

Spørgsmål og svar



Loftsvarme giver varme rumflader og giver derved lavere lufttemperatur.

Afsnit 2

Hvordan fungerer loftsvarme?

Varm luft stiger, så hvorfor sættet "elementet" i loftet? Ja, det er en normal kommentar fra mennesker, som ser med usikkerhed på loftsvarme. I dette afsnit vil vi forsøge at forklare, hvordan loftsvarme fungerer og hvorfor der bliver varmt i hele rummet og ikke kun ved loftet.

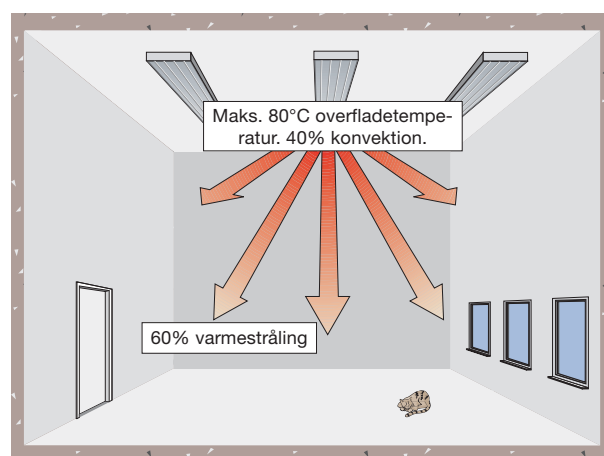
Varmesystemet afgiver varme til omgivelserne gennem en blanding af konvektion og varmestråling. Konvektionen opvarmer luften i nærheden af en varmer, mens varmestrålingen spreder sig i alle retninger i rummet. Den konvektivt varmede luft stiger i rummet, mens varmestrålerne bevæger sig lige ud fra varmeren, indtil de møder nogle af de omgivende flader.

Loftsvarmesystemet bygger på en høj andel varmestråling og lav andel konvektion. Typiske værdier er ca. 60% stråling og ca. 40% konvektion. Lindab Comforts loftsvarmesystem er vandbåren og bygger på varmestråling ved lave temperaturer (30-80°C). Dette gør, at man ikke oplever varmestrålingen så intenst som f.eks. solen eller en elektrisk infrarød varmer.

Andelen af konvektion for et loftsvarmesystem (ca. 40%) svarer til ca. den andel af varmetab gennem bygningens klimaskærm, som loftets varmetab udgør. Resten af energien fra en loftsvarmer, dvs. strålingsandelen, kommer altså de øvrige dele af bygningen direkte til gode.

Man kan sammenligne varmestråling med normalt lys. Det spreder sig og reflekteres på næsten samme måde.

Fra loftsvarmeren stråler varmen ud mod alle flader, som den kan "se". Også flader, som er i "skygge" fra varmestrålerne vil blive varmet op, da en del af varmestrålingen, ligesom synligt lys, reflekteres mod alle flader og der sker et strålingsudbytte mellem rumflader med forskellig temperatur. Derfor vil temperaturforskelle i rummet og på forskellige flader hele tiden forsøge at udjævne sig. Dette medfører, at rummet får en meget jævn temperaturfordeling mellem loft og gulv.



Fordeling af stråling og konvektion for Lindab Comforts loftsvarmere.

De flader, hvor strålingsvarmen overføres, vil blive varmet op til en temperatur, der er højere, end man ville have haft ved konventionel opvarmning. Normalt vil f.eks. indervægge få en overfladetemperatur, der ligger over rummets lufttemperatur. En sjælden bemærket fordel med strålingsvarme fra loftet er, at den giver varme gulve! Normalt bliver gulvtemperaturen ca. 2-3°C over lufttemperaturen ved ankelhøjde.

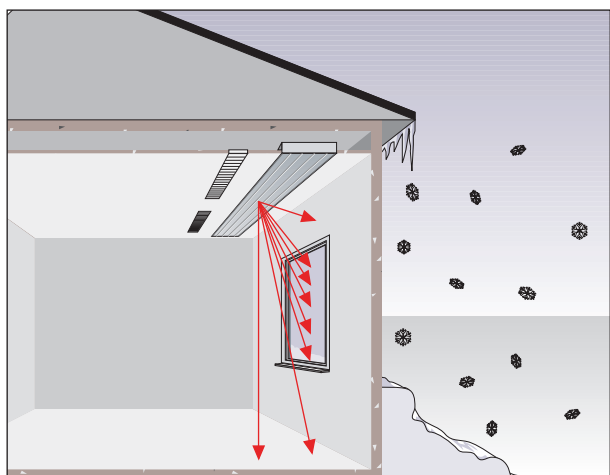
Det er altså ikke svært at få tilfredse lejere med loftsvarme installeret!

Den varme, som loftsvarmen giver anledning til, og som en person oplever, kommer altså i høj grad fra den indirekte varme fra de omgivende flader. Kun en lille del kommer direkte fra loftsvarmepanelerne. Oplevelsen af det termiske klima kommer af, at menneskekroppen mister mindre mængde varme til omgivelserne, når omgivelsernes flader er varmere. Det er altså ikke nok, at kun luften omkring os er varm! Se også afsnit 1.

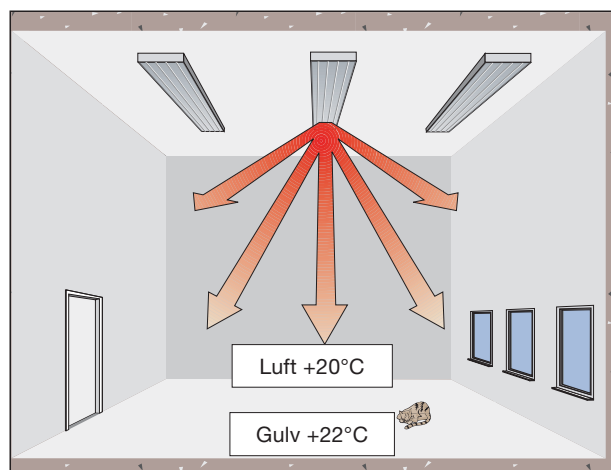
Loftsvarmevejledning

Spørgsmål og svar

En stor fordel med strålingsvarme er, at jo koldere en omgivende flade er, desto mere varmeenergi vil den "suge" til sig. Dette betyder, at varmestrålingen automatisk vil fordele sig, så koldere overflader, f.eks. vinduer eller dårligt isolerede vægge, vil få en større andel af varmen, dvs. varmen ender der, hvor der er mest behov for den. (Uddybning se kapitel II).



Varmestrålingen kommer derhen, hvor der er mest behov for den.



Loftsvarme giver varme gulve!

Afsnit 3

Hvornår kan man anvende loftsvarme?

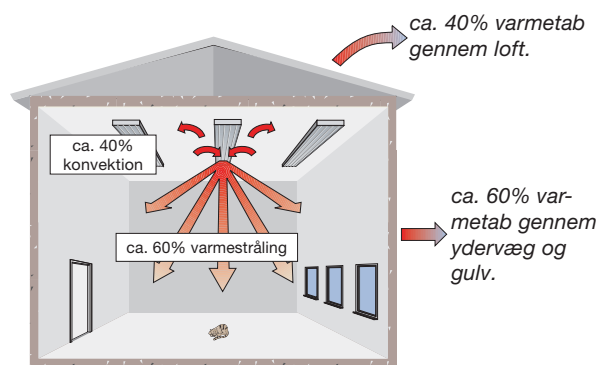
Loftsvarme har et meget bredt anvendelsesområde, bredere end de fleste andre opvarmningsformer. Generelt kan man sige, at loftsvarme kan anvendes som opvarmning til stort set alle typer ejendomme. Loftsvarme anvendes mest i store lokaler, som f.eks. idrætshaller, værksteder, industrihaller, lagre og indkøbscentre. Men også i lokaler som børnehaver, hospitalsstuer, boliger, skoler og laboratorier fungerer loftsvarme udmærket.

En loftsvarmers effektafgivelse er ca. 40% konvektiv (varme til loftet) og ca. 60% stråling (nedadgående varme). For en bygning er der normalt samme fordeling af varmetab gennem vægge, loft og gulv, hvilket vil sige, at ca. 40% af varmen går ud gennem loftet og ca. 60% gennem resten af bygningen. Derfor er loftsvarme, sammen med alle andre fordele, aldeles udmærket til opvarmning af stort set alle bygninger.

Der installeres sjældent loftsvarme i boliger. En af de største årsager til dette er sandsynligvis, at boligopvarmning bygger på stærke traditioner. Undersøgelser har dog vist, at loftsvarmepaneler, med kombineret udeluftindtag fra udsugningssystemet, giver et godt indeklima sammenlignet med et konventionelt radiatorsystem. Loftsvarmepanelerne blev i forsøget monteret i loftet direkte over vinduet i et soveværelse. Udeluften blev suges ind gennem et gitter i ydervæggen og blev forvarmet mellem loftet og loftspanelet.

For at sammenfatte kan man konstatere, at:

- Indblæsningen varmes i gennemsnit til 15,5°C ved en udetemperatur på -2°C.
- Driftstemperaturen lå i gennemsnit ca. 1,1°C højere end for et tilsvarende referencerum med panelradiatorer.
- Der blev ikke konstateret noget kuldenedfald (vinduet blev varmet af loftsvarmen, se også afsnit 9).



Fordeling af varmeafgivelse fra loftsvarme og fra en bygning.

Loftsvarmevejledning

Spørgsmål og svar

Loftsvarme fungerer lige godt i lokaler, hvor personer sidder med koncentreret arbejde, som i lokaler, hvor personer står op eller bevæger sig. Loftshøjden har praktisk set ingen betydning, uanset om det er opadgående eller nedadgående, for at få et varmt klima i opholdszonen (se også afsnit 5 og 7).

Zoneopvarmning

Loftsvarme fungerer også udmærket, hvis kun en del af et lokale skal opvarmes, såkaldt zoneopvarmning. Det kan f.eks. være faste arbejdspladser i lokaler, hvor aktiviteten kræver en lav temperatur. Her kan strålingsvarme bidrage til at øge den oplevede temperatur (såkaldt operativ temperatur) ved lokalt at øge de omgivende fladers temperaturer, og i vis grad også luftens temperatur, og på den måde skabe et mere tåleligt arbejdsmiljø.

Andre fordele med loftsvarme:

En stor fordel med loftsvarme er, at varmen kommer fra væggen. Der skal ikke tages hensyn til placering af inventar, maskiner og andet udstyr, og loftsvarmepanelerne tager ingen plads på væggen eller gulvet.

Loftsvarmepaneller og varmestrips er også relativt enkle at flytte, hvis et lokale skal anvendes til en anden aktivitet eller hvis vægge skal flyttes.

I f.eks. skoler og offentlige lokaler er varmerne ikke tilgængelige til at blive beskadiget.

(Uddybning se kapitel III og kapitel VI).

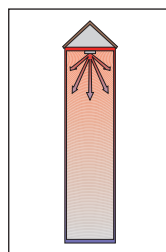
Afsnit 4

Hvornår kan man ikke anvende loftsvarme?

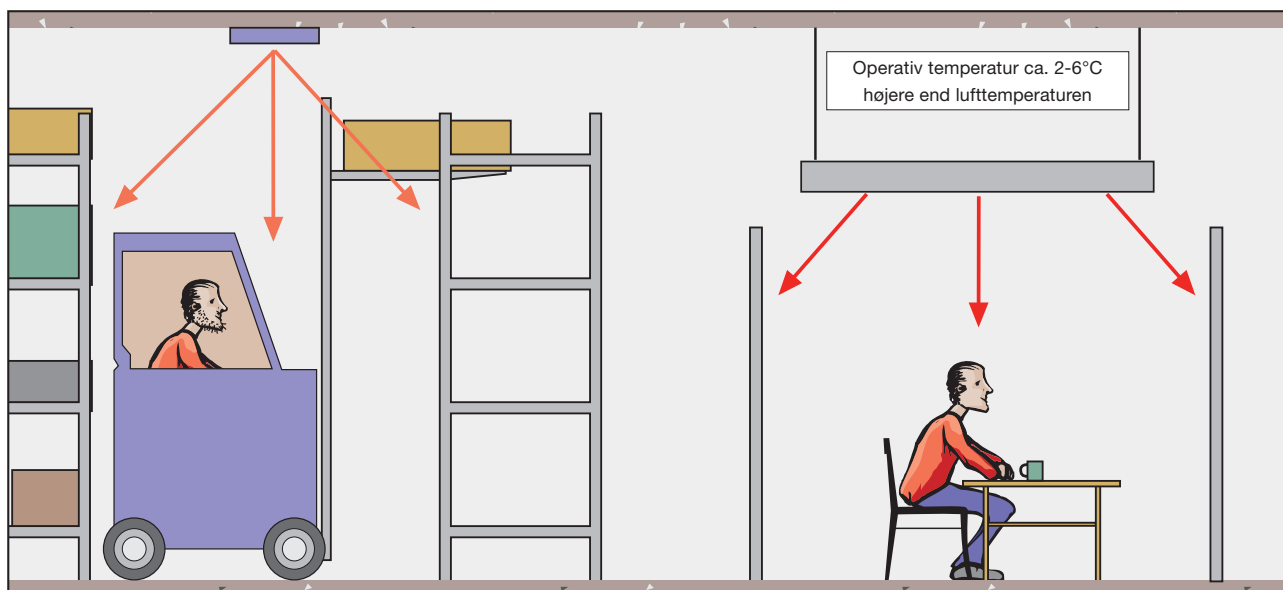
Der er ikke mange tilfælde, hvor loftsvarme ikke fungerer, men hver teknik har sine begrænsninger. Følgende eksempel kan belyse loftsvarmens begrænsninger:

For at forhindre luftudsivning ved åbne døre fungerer loftsvarme ikke bedre end andre varmesystemer. Gulv, vægge og eventuelt inventar i nærheden af døren varmes godt nok op, men loftsvarmen forhindrer ikke luftudsivning gennem en åbn dør. Derimod bidrager loftsvarmen til at skabe det bedst mulige termiske klima i zonen omkring døren, ved at fladerne holdes varme, mens der strømmer kold luft ind, når døren er åben.

I et højt tårn, f.eks. et fyrtårn, fungerer loftsvarme også dårligere, da meget lidt af den udstrålede varme når gulvet og opholdszonen. Dette skyldes ikke, at der er langt til gulvet, men at gulvet har en relativt lille overflade i forhold til den samlede overflade, som loftsvarmen "ser". En stor del af varmestrålingen optages af vægfladerne.



I et højt smalt rum fungerer loftsvarme dårligere.



Zoneopvarmning giver en højere operativ temperatur i dele af lokalet.

Loftsvarmevejledning

Spørgsmål og svar

Afsnit 5

I hvilken højde kan loftsvarme installeres?

Så længe luften i lokalet er normalt rent, er der ingen begrænsning, andet end selve bygningen, for hvor højt loftspanelerne kan monteres. Strålingsvarmen forhindres ikke af luften, og fordeler sig mod gulv, vægge og inventar, uanset installationshøjde og fladetemperatur på loftsvarmerne.

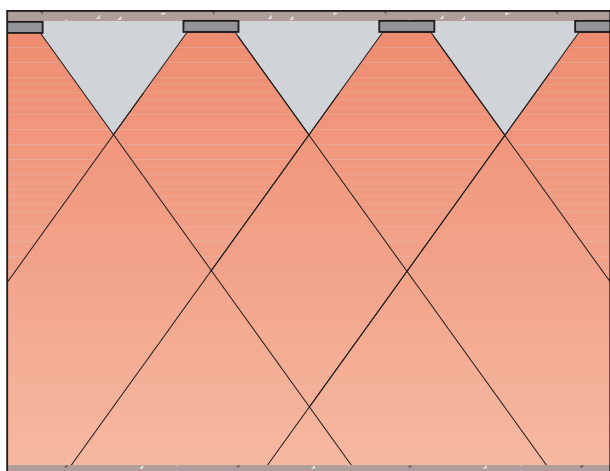
Derimod findes der begrænsninger for, hvor lavt loftsvarmere kan monteres. Det, der spiller den største rolle for laveste installationshøjde, er loftsvarmerens fladetemperatur. Derefter kommer faktorer som varmerens længde/breddeforhold og om personen i rummet sidder eller står. Jo varmere flader desto højere skal loftspanelerne monteres, for at en person under den ikke oplever ubehag. Der er dog moderate grænser for laveste installationshøjde, se afsnit 7.

Nedenstående er et eksempel på dette:

Et loftsvarmepanel med målene 3,6 x 0,6 m og maksimal overfladetemperatur på 50°C (55/45°C system) kan installeres så lavt som 2,1 m (!). Hvis overfladetemperaturen øges til 70°C (80/60°C system) bliver laveste installationshøjde 2,8 m.

Det er vigtigt at påpege, at vi her taler om dimensionerende varmetemperaturer, som statistisk, indtræffer nogle få dage om året.

Det meste af året er varmetemperaturen i systemet lavere. (Uddybning se kapitel II og IV).



Loftshøjden spiller ingen rolle - al strålingsvarme når alle vægge og gulv. Det er kun intensiteten, der aftager med højden.

Afsnit 6

Påvirker loftsvarme ventilationen?

Loftsvarmen giver ikke anledning til luftbevægelser, som kan påvirke ventilationen. Dette betyder, at loftsvarme er ideelt i lokaler, hvor der er høje krav til kontrol af luftmængden gennem lokalet.

Ved projektering af ny- eller ombygning af ejendomme og lokaler medfører det altså, at man frit kan vælge ventilationsystem ved kombination med loftsvarme. (Uddybning se kapitel V).

Afsnit 7

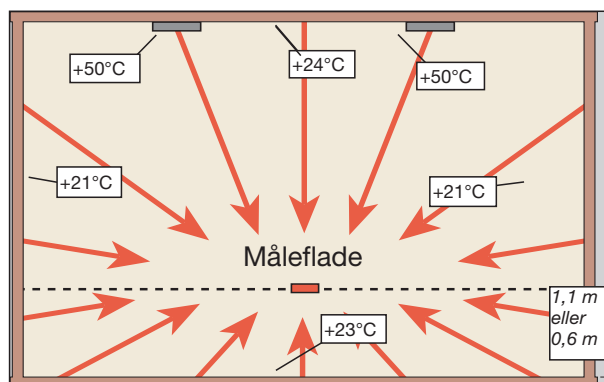
Bliver der varmt på hovedet?

Strålingstemperaturasymmetri (STA) er et begreb, der anvendes til at angive, hvor stor temperaturforskel på forskellige omgivende flader et menneske kan acceptere uden at opleve ubehag. STA mærkes f.eks., hvis man vender den ene kind mod en varm pejs og den anden kind mod et koldt vindue.

STA måles på en lille flade på enten 0,6 m højde, som svarer til en siddende person, eller 1,1 m højde, som svarer til en stående person. STA er forskellen mellem varmestråling på begge sider af målefladen.

Som tidligere nævnt i afsnit 2 vil varmestrålingen fra loftsvarmen opvarme de omgivende flader og specielt gulvet. Dette medfører, at STA udjævnes. En vigtig faktor for, at STA ligger inden for de acceptable grænser, er dog, at loftsvarmeren er korrekt dimensioneret med hensyn til dens maksimale temperatur.

Hvis denne forudsætning er opfyldt, vil STA ligge inden for de grænser for behageligt indeklima, der er angivet af retningslinjerne fra Svenska Inneklimatitutets (R1) og den internationale indeklimastandard ISO 7730.



Eksempel på hvordan strålingstemperaturasymmetri (STA) måles. STA er forskellen mellem varmestråling på begge sider af målefladen. Temperaturerne er kun givet som eksempel.

Loftsvarmevejledning

Spørgsmål og svar

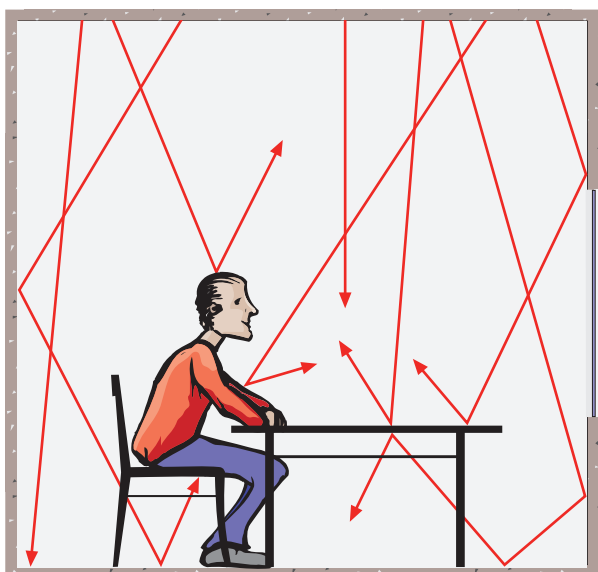
Afsnit 8

Bliver der koldt under bordet?

Det er en udbredt misforståelse, at der bliver koldt under bordet og andre horisontale flader med loftsvarme som opvarmningssystem. Ligesom det ikke bliver koldt under et bord, bliver der heller ikke helt mørkt under et bord, når kun loftslampen er tændt.

Varmestrålingen ligesom lysstrålerne fra loftet spreder sig til de omgivende flader. Disse flader absorberer det meste af varmeenergien, men reflekterer også en mindre del. Denne del af varmemestrålingen "farer" rundt til rummets forskellige flader og opvarmer de omgivende flader, inklusive gulvet under bordet. Også bordfladen bliver varm på både over- og undersiden ved direkte og indirekte varmemestråling. Dette gør, at forskellen i lufttemperatur eller strålingstemperatur bliver meget lille under et bord sammenlignet med ved siden af bordet.

(Uddybning se kapitel II).



Varmestrålerne reflekteres delvist og udjævner forskellen i temperatur.

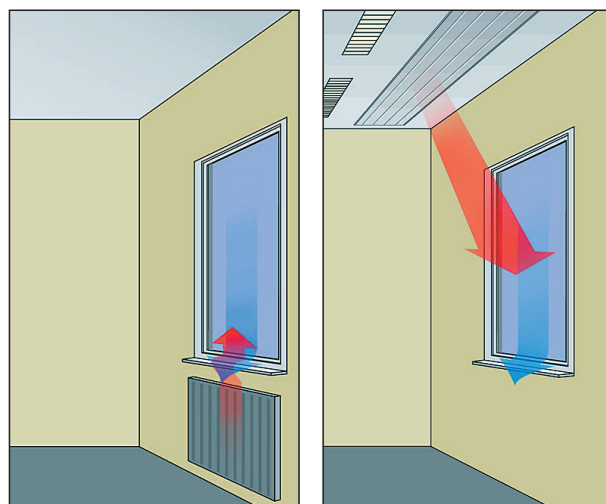
Afsnit 9

Bliver der kuldeneffald ved vinduet?

Ved 2- og 3-glasvinduer er der risiko for kuldeneffald (dvs. luftbevægelser, der forårsages af luft, der køles ned mod en kold flade), hvis der ikke findes nogen form for varmekilde ved vinduet, som modvirker den nedadgående luftstrøm. Varmekilderne behøver dog ikke nødvendigvis være under vinduet. En radiator under et vindue giver anledning til en varm opadgående luftstrøm, der skal modvirke det eventuelle kuldeneffald fra vinduet. Loftsvarmen forhindrer derimod kuldeneffaldet ved dens kilde, dvs. vinduets kolde flade. Loftsvarmerne opvarmer nemlig vinduets overflade, så risikoen for kuldeneffald minimeres.

Loftsvarmen vil altså gennem varmemestrålingen direkte opvarme de flader, der er kolde. Som nævnt i afsnit 2 fordeles varmemestrålingen til rummets flader iht. fladernes temperatur. Der går altså mere varmeeffekt til de koldere flader. Varmestrålingen fra loftet vil derfor dels opvarme vinduesfladen og vinduesnichen og dels opvarme vindueskarmen. Herved elimineres kuldeneffaldet fra vinduet direkte ved "kilden", dels pga. den opvarmede vinduesflade og dels vinduesnichens og vindueskarmens varmende effekt.

Den største risiko for at opleve ubehag ved kuldeneffald har man ved stillesiddende arbejde og i let indetøj på en arbejdsplads i nærheden af et vindue og uden varmekilde, som modvirker eventuelt kuldeneffald. Ved aktivt eller stående arbejde lidt væk fra et vindue er risikoen lig nul, specielt i nyere lokaler med 3-glasvinduer. (Uddybning se kapitel II).



Loftsvarmere forhindrer kuldeneffald ved at opvarme vinduesoverfladen.

Loftsvarmevejledning

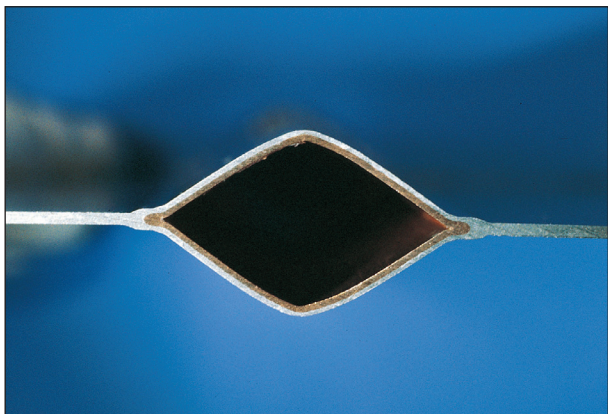
Spørgsmål og svar

Afsnit 10

Hvilken levetid har Lindab Comforts loftsvarmere?

Lindab Comforts grundelement, vores verdenspatent, anvendes både i varme- og kølesystemer samt i solfangere verden over, hvor temperaturen kommer helt op på 250°C. På Statens Provnings- og Forskningsinstitut har man haft flader med en temperatur på over 200°C, der efterfølgende er kommet i kontakt med vand på kun 10 grader. Man har også haft fladerne udenfor i flere år, hvorefter de tages ind og kontrolleres igen. Man har også tryktestet fladerne med et tryk på 10-11 bar – 16.000 gange! Ingen af disse prøver har påvirket produktets kvalitet eller ydeevne.

Vi kender ikke andre produkter på markedet, der er lige så grundigt testet som Lindab Comforts. Derfor vover vi at påstå, at Lindab Comforts loftsvarmere kan fungere lige så længe som huset, de er monteret i. (Uddybning se kapitel IV).



Tværsnit af vandkanalen i Lindab Comforts loftsvarmere.

Afsnit 11

Kan loftsvarmeinstallationen forandres med ændret aktivitet?

I dag er det normalt, at en bygning og dens indre gennemgår store forandringer i løbet af dens levetid. Det er derfor nødvendigt, at både vægge og installationer kan ændres og flyttes uden alt for store omkostninger.

Loftsvarmen har store fordele, hvad det angår. Rørsystemet er ofte monteret synligt eller i loftet, som er let aftageligt, hvilket gør det nemt at afmontere eller bygge om.

Hvis loftsvarmerne er installeret i et kasseteloft, kan de meget let bytte plads med loftskassetter på de steder, hvor der er behov for loftsvarmere. Hvis de er nedpendlede, kan de også let afmonteres og flyttes til et andet sted.

Dette er også en af fordelene med lige netop Lindab Comforts loftsvarmeprodukter. De har markedets laveste vægt, hvilket medvirker, at det er endnu nemmere at foretage ændringer i loftsvarmeinstallationer, specielt ved høj loftshøjde.

Ejendommejereren/forvalteren er ikke bundet til en speciel type lejer. De kan skifte mellem f.eks. fabrikationsindustrien, dansestudie og lager. Der behøves ikke tages hensyn ved renovering eller ombygning af gulv eller vægge.

Loftsvarmevejledning

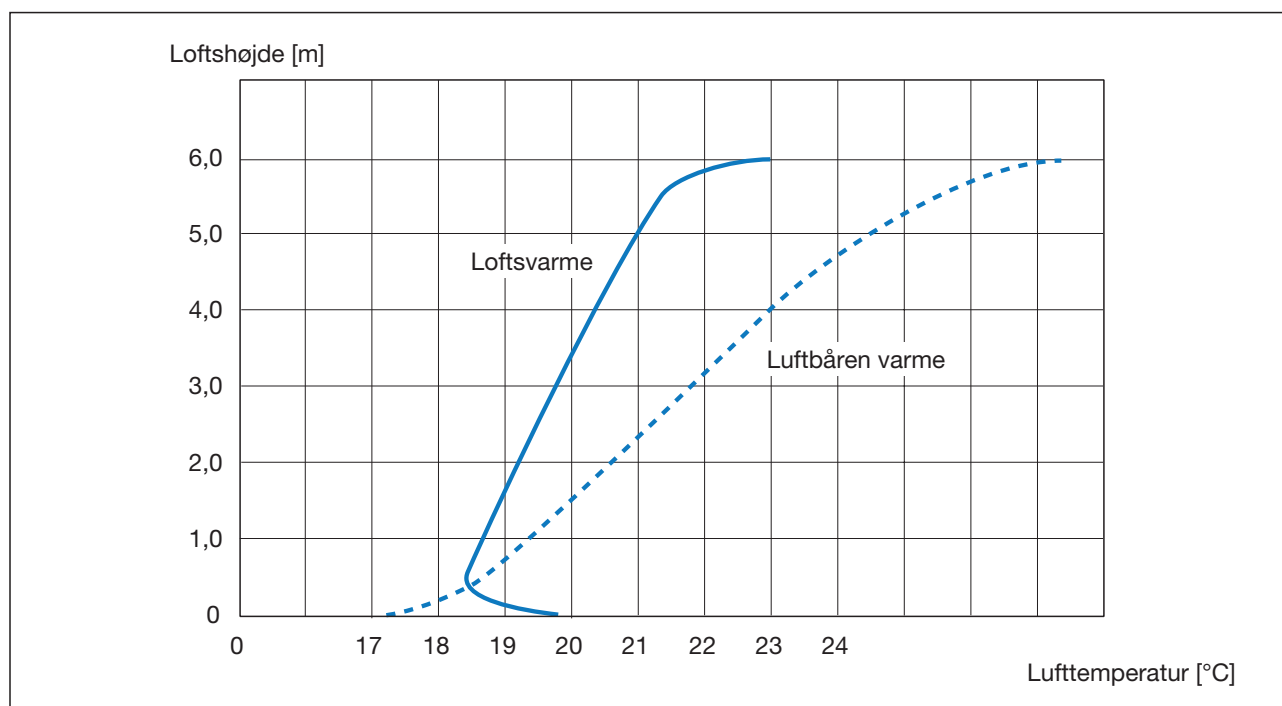
Spørgsmål og svar

Afsnit 12

Hvilken effekt skal installeres?

Ved beregning af dimensionerende varmeeffektbehov beregnes først bygningens forskellige bygningsdele vedrørende areal og varmegennemgangstal (U-værdi). Dette beregnes på normal vis iht. gældende byggelov og Svensk Standard. Desuden bestemmes, hvilken temperatur der skal være i huset, og den dimensionerende udetemperatur, DUT. Sidstnævnte beregnes normal iht. Svensk Standard. Derefter kan der foretages en beregning af dimensionerende varmeeffekt for bygningen.

Man skal ved beregningen tage hensyn til, at der er en temperaturforskel mellem loft og gulv (temperaturgradient). Temperaturgradienten kan give store forskelle i temperatur mellem loft og gulv ved høje loftshøjder. En af loftsvarmens store fordele er, at temperaturgradienten er lille, i forhold til andre varmesystemet, ca. $0,5^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Dette forhold giver små forskelle i temperatur mellem loft og gulv. Opvarmning med f.eks. luftvarmere med ventilator (aerotemper) giver en temperaturgradient på ca. $2^{\circ}\text{C}/\text{m}$. En lille temperaturgradient giver naturligvis et lavere varmeeffektbehov, da indetemperaturen ved loftet bliver lavere.

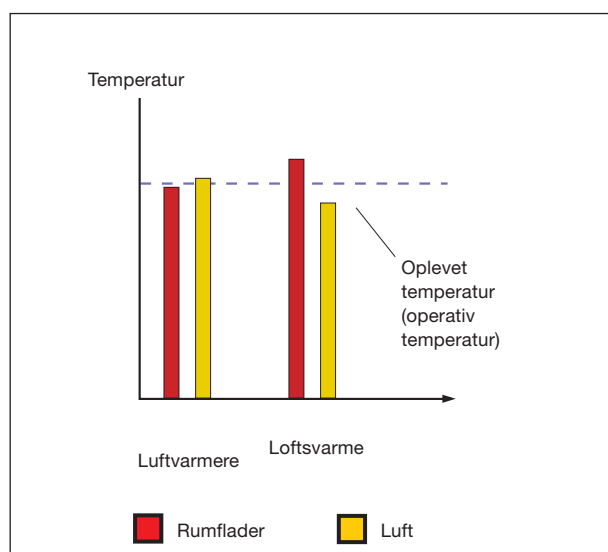


Eksempel på temperaturfordeling i luften i et lokale med forskellige varmesystemer.

Loftsvarmevejledning

Spørgsmål og svar

Foruden den lave temperaturgradient kan man for loftsvarme også normalt regne med ca. 1-2 grader lavere indetemperatur ved nybygning, pga. strålingstilskudet fra de omgivende flader (se afsnit 1 og 2), og dermed sænke den installerede opvarmningseffekt. Ved ombygning eller renovering skal der dog foretages en mere nøjagtig analyse for at undersøge, om bygningens standard efter opgaver og aktiviteter i den giver mulighed for at regne med sænket indetemperatur.



Loftsvarme giver varme rumflader og giver derved lavere lufttemperatur. Dette medfører et lavere varmeeffektbehov.

Et eksempel kan forklare forskellen i effektbehovet pga. lavere indetemperatur og mindre temperaturgradient. Antag en nybygget hal på 1000 m² med en loftshøjde på 5 m og normale konstruktioner i vægge, loft og gulv. Vinduesarealet svarer til 10% af gulvarealet. Den nødvendige varmeeffekt for transmission og ufrivillig ventilation bliver for to forskellige varmesystemer som følger (varmeeffekt for ventilation er ikke inkluderet):

Varmesystem	Temp. i opholdszone/gradient	Varmeeffekt
Luftvarmere med ventilator (aerotemper)	20°C / 2°C/m	71,3 kW
Loftsvarme	18°C / 0,5°C/m	58,5 kW

Loftsvarmesystemet kræver altså i dette eksempel kun 82% af varmeeffekten sammenlignet med et system med luftvarmere med ventilator. Vær opmærksom på, at forskellen bliver mindre i lokaler med lavere loftshøjde. (Uddybning se kapitel VII).

Afsnit 13

Sparer loftsvarme energi?

På dette spørgsmål kan man svare ja i de fleste tilfælde, når man sammenligner med andre konventionelle varmesystemer. At loftsvarme sparer energi skyldes dels, at man kan holde en lavere lufttemperatur i opholdszonen (ca. 1-2°C), uden at den oplevede (operative) temperatur sænkes, og dels på at forskellen mellem loft- og gulvtemperaturen (temperaturgradienten) er mindre (se afsnit 1 og 12). Sidstnævnte medfører, at der ikke dannes en stor varmluftpude under loftet, som kan give store varmetab gennem loftet.

Hvor stor energibesparelsen bliver, afhænger af typen af ejendom og eventuelt tidligere varmesystem. For ejendomme med en loftshøjde på 2-3 meter kan man regne med en besparelse på 2-7%. For ejendomme med større loftshøjde kan energibesparelsen blive endnu større, specielt hvis bygningen er af ældre dato, er utæt eller har store porte eller åbninger, der giver en stor mængde luftudsivning (ufrivillig ventilation). Besparelser på op til 30% er vist i både svenske og udenlandske forskningsrapporter. (Uddybning se kapitel VII).

Afsnit 14

Hvad koster det?

Svaret på dette spørgsmål afhænger af, hvilket tidsperspektiv man antager og hvilke omkostninger medregnes. Vi har valgt at se på længere sigt, i dette tilfælde 15 år, da det samlede omkostningsbillede i de fleste tilfælde er mere interessant for forvaltere eller ejendommejerere. Ser man kun på investeringsomkostningen, er loftsvarme det næstbilligste i eksemplet.

Eksemplet viser den beregnede samlede omkostning for fire forskellige varmesystemer. De forskellige systemer er loftsvarme, gulvvarme, luftvarmere med ventilator (aerotemper) og luftvarme.

Forudsætningerne for beregningen vises også og bygger på en antaget nybygget industrihal med målene 60 x 40 m med en loftshøjde på 8 m beliggende i Göteborg. Hallen antages at være tilsluttet til Göteborgs fjernvarmenet. I investeringsomkostningerne indgår materiale og arbejdsomkostninger, inklusive tilslutningsafgift til fjernvarme og indreguleringsarbejde for det respektive varmesystem. Investeringsomkostningerne for de forskellige varmesystemer, inklusive loftsvarmesystemet, er beregnet af et uafhængigt konsulentfirma.

Årlige drifts- og vedligeholdelsesomkostninger (DoU) er beregnet som en procentsats af investeringen og inkluderer elektricitets-, vedligeholdelses- og reparationsomkostninger. For loftsvarme og gulvvarme antages de til 0,5% og for luftvarmere med ventilator og luftvarme til 2% af investeringsomkostningerne. Energiforbruget for de forskellige varmesystemer, som inkluderer varmeenergiebehov til transmission og ufrivillig ventilation, er beregnet med de forudsætninger, der er angivet herunder. Energiebehovet for ventilation er ikke inkluderet, da det antages at være det samme for alle varmesystemer.

Loftsvarmevejledning

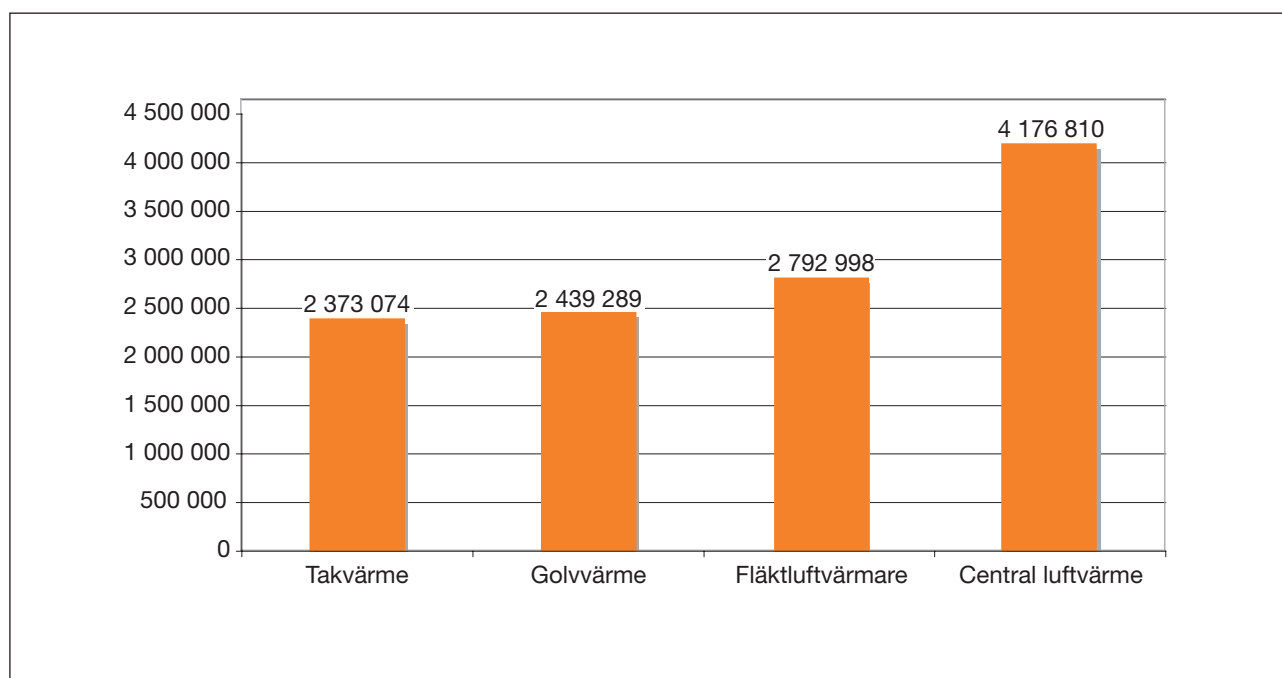
Spørgsmål og svar

Samlede omkostninger for de respektive systemer inkluderer investeringsomkostning, drifts- og vedligeholdelsesomkostninger samt energiomkostninger. Den samlede omkostning angives dels som en nuværdi og dels som en annuitet.

Fælles forudsætninger:	
Beregningsrente:	10%
Levetid:	15 år
Energipris:	450 kr/MWh
Energiprisstigning:	2% pr. år

Varmesystem	Investering (SEK)	DoU (SEK/år)	Energiforbrug (MWh/år)	Samlet omkostning	
				Nuværdi (SEK)	Annuitet (SEK/år)
Loftsvarme	840.00	4.200	386	2.373.000	311.997
Gulvvarme	945.00	4.725	375	2.439.000	320.703
Luftvarmer med ventilator	777.000	15.540	488	2.792.998	367.206
Central luftvarme	2.170.500	43.410	431	4.176.810	549.141

Omkostning for forskellige varmesystemer. Investeringsomkostninger er beregnet af et uafhængigt konsulentfirma.



Nuværdi af samlet omkostning for fire forskellige loftsvarmesystemer.

Loftsvarmevejledning

Spørgsmål og svar

Beregningsforudsætninger:

U-værdi	loft:	0,2 W/m ² , °C
	vægge:	0,2 W/m ² , °C
	gulv indre zone:	0,3 W/m ² , °C
	gulv ydre zone:	0,3 W/m ² , °C
	vindue:	2,0 W/m ² , °C
Areal	loft:	2400 m ²
	vægge:	1400 m ²
	gulv indre zone:	1000 m ²
	gulv ydre zone:	200 m ²
	vindue:	200 m ²
Loftshøjde:		8 m
Ufrivillig ventilation:		0,3 oms/h

	Loftsvarme	Gulvvarme	Ventilator-luftvarme	Luft-varme
Huset temp, beboelsesrum (°C)	19 ¹⁾	19 ¹⁾	20	20
Temperaturgradient (°C/m ²)	0,7	0,5	2,0	1,0 ³⁾

Øvrige forudsætninger:

1. Loftsvarme og gulvvarme kræver lavere lufttemperatur, 19°C, for at opretholde en bestemt operativ temperatur, som i dette tilfælde antages til 20°C.
2. Angiven temperaturgradient gælder ved dimensionerende udetemperatur. Ved andre udendørstemperaturer antages den at synke lineært for at blive nul, når der ikke er behov for varme.
3. Temperaturgradienten for luftvarme gælder, når der er installeret blæsere.

Afsnit 15

Kan man genanvende Lindab Comforts produkter?

Livscyklusanalyser (LCA), der er foretaget for aluminium-produkter, viser mange fælles træk. Materialets fremstillingsdel (drift, berigning og produktion) får forholdsvis høje belastningstal for både energi og miljø. I produktanvendelsesdelen får man sammenlignet med andre materialer et omvendt forhold. Den belastning aluminiumprodukter giver ved fremstillingen, opvejes mange gange helt af den lavere miljøpåvirkning i anvendelsen.

Hvis aluminium desuden genanvendes i endnu højere udstrækning, vil miljøbelastningen fra fremstillingen mindske i tilsvarende grad.

Lindab Comforts loftsvarmesystemer består udelukkende af kobber, aluminium og en isoleringsskive af opskummet polystyren samt en lille mængde tin. Al materiale eksklusiv isoleringsskiven er 100% genanvendeligt. Allerede i dag går alt skrot fra produktionen til genanvendelse.

Ved nedrivning af en bygning, hvor Lindab Comforts lofts- og varmeprodukter er installeret, kan det metalliske materiale deri genanvendes 100%. Aluminium og kobber er godt nok metallisk forbundet i fremstillingsprocessen og kan ikke adskilles, men genanvendelse er stadig mulig. Loftsvarmerne presses sammen i pakken på ca.

20 x 20 cm, og anvendes i metalindustrien som legeringsstoffer i forskellige aluminiumskvaliteter. I hver pakke er andelen af kobber veldefineret, da hver centimeter af et panel indeholder lige mange procent kobber. (Uddybning se kapitel VIII).

Loftsvarmevejledning

Kapitel I

Hvordan mennesker oplever det termiske klima

Varmeudbytte

Menneskets varmeudbytte med omgivelserne afhænger af dets aktivitet, påklædning og hvor meget varme, der overføres til omgivelserne gennem konvektion og stråling. En del varme afgives i form af latent varme som vanddampe. Normalt tilføres denne varme ikke til rum i huset, men føres ud af huset gennem kondens.

Aktiviteten

Aktiviteten eller metabolismen afgør, hvor meget varme der genereres i kroppen, og udtrykkes i enheden MET (1 MET = 58 W/m²). Aktivitetsgraden i huset hos mennesker varierer normalt mellem 0,8 MET (sovende) til 7 MET (hårdt fysisk arbejde). Den normale værdi ved normal kontoraktivitet er 1,1-2,2 met. Hvor høj metabolisme en person har ved et givet arbejde, bestemmes også af individuelle faktorer såsom alder, kropsvægt, køn, helbred, m.m.

Beklædningsgraden

Beklædningsgraden er et mål for varmeisoleringen af menneskekroppen, og udtrykkes i enheden clo (1 clo = 0,155°C m²/W). Den varierer mellem 0 clo nøgen og ca. 3 clo dækket af tykt sengetøj. En normal påklædning i huset ligger inden for intervallet 0,7 clo til 1,2 clo.

Menneskets varmeudbytte

Menneskets varmeudbytte sker normalt gennem konvektion og stråling. Disse er stort set ens ved små lufthastigheder. Når der strømmer luft forbi huden med højere hastighed end ca. 0,1 m/s, øges den konvektive varmeoverførsel gradvist. Hvis mennesket bliver for varmt og begynder at svede, afgives en betydelig mængde varme, ved at fugt fordampes fra kroppen (faseomdannelse). Ved termisk komfort er svedproduktionen meget lille, og den fugt, der trods alt fordampes fra huden, medregnes i den konvektivt afgivne varme. Luftens fugtighed påvirker mængden af fugt, som fordampes fra hud og slimhinder. Jo tørrere luften er, desto større mængde fugt afgives fra hud og slimhinder.

Konvektion

Konvektion, som en person udsættes for, består til dels af egenkonvektion, som opstår, når mennesket opvarmer luften i nærheden af kroppen, som dermed stiger og giver anledning til luftbevægelse, og dels påtvunget konvektion, som er ydre luftbevægelser fra f.eks. ventilation eller træk. Grænsen for ubehagelig lufthastighed varierer først og fremmest med de omgivende temperaturer, og den normale grænse i huset er derfor 0,15 m/s om vinteren og 0,2-0,4 m/s om sommeren, ref. [8], se side 34.

Det højere værdi for sommertid beror på, at rumtemperaturen oftest er højere i sommermånederne, og dermed forhøjes grænsen for ubehagelig lufthastighed.

Stråling

Stråling sker som et nettoudbytte mellem to kroppe/flader, og går normalt fra mennesket til en koldere omgivelse. Størrelsen på varmeoverførslen gennem stråling afhænger af personens aktivitet og beklædningsgrad samt omgivelsernes overfladetemperaturer.

Temperatur

Når det gælder luftens og de omgivende fladers temperaturer, er der defineret en række forskellige temperaturer til at beskrive deres påvirkning på mennesket. Herunder har vi beskrevet de mest almindelige.

Foruden lufttemperatur findes

Vertikal temperaturgradient (°C/m): Et mål for, hvor meget lufttemperaturen ændres ved forskellige højder over gulvet. Bestemmes normalt som temperaturforskellen mellem 0,1 m og 1,1 m højde. Temperaturgradienten skal være mindre end 2-3°C/m for at undgå ubehag. Den laveste værdi anvendes, hvis det drejer sig om stillesiddende arbejde. Det skal dog påpeges, at en temperaturgradient på 2-3°C/m medfører, at der opstår en betydelig opdeling af luften og dermed også et stort energitab ved loftsniveauet. Temperaturgradienten for Lindab Comforts loftsvarmere ligger normalt på ca. 0,4-0,5°C/m, hvilket medfører, at energitabet ved loftsniveauet mindskes kraftigt. Se også kapitel VII.

Plan strålingstemperatur (°C): Anvendes til at bestemme strålingsudbyttet for en lille plan overflade (hudparti), som peger i en vis retning. Strålingsudbyttet afhænger af overfladetemperaturen og vinkelfaktoren fra den respektive delflade, der kan "ses" af den plade overflade. Plan strålingstemperatur beregnes ved hjælp af målte overfladetemperaturer og vinkelfaktorer, eller måles med en strålingstemperaturmåler.

Strålingstemperatursymmetri (°C): Strålingstemperatursymmetri (STA) defineres som forskellen i plan strålingstemperatur på begge sider af en lille plan overflade. STA måles i et plan 0,06 m over gulvet ved siddende aktivitet eller 1,1 m over gulvet ved stående aktivitet. STA må maks. være 5°C i tilfælde, hvor varmestrålingen kommer fra loftet. Se også kapitel VI.

Middelstrålingstemperatur (°C): Et mål til at bestemme kroppens samlede strålingsudbytte med omgivende overflader. Middelstrålingstemperaturen vedrører middelværdien af strålingsudbyttet i alle retninger.

Operativ temperatur (°C): Beskriver den samlede påvirkning af lufttemperatur og middelstrålingstemperatur på menneskets varmebalance. Ofte antager man operativ temperaturen som middelværdi af lufttemperaturen og middelstrålingstemperaturen.

Retningsbestemt operativ temperatur (°C): Begreb i svensk byggelov, som anvendes til at beskrive varmeudbyttet for et lille tænkt hudparti. Defineres for et bestemt målepunkt og retning i rummet som middelværdi af lufttemperatur og plan strålingstemperatur.

Loftsvarmevejledning

Ækvivalent temperatur (°C): et mål til at beskrive den samlede påvirkning af lufttemperatur, strålingstemperatur og lufthastighed på menneskets varmebalance. Sammenhængen påvirkes også af menneskets aktivitet og påklædning.

Termisk komfort

Hvilke klimaforudsætninger i huset, som giver termisk komfort, skiller sig ud mellem forskellige individer.

I forsøg udført af Professor P O Fanger, ref. [21], hvor store grupper mennesker udsættes for forskellige klimapåvirkninger, viser dog, at flertallet af mennesker reagerer ens på indeklima. Forsøget er mundet ud i kriterier for termisk komfort, som bygger på klimaforudsætninger, hvor størstedelen af en stor gruppe mennesker opfatter klimaet som neutralt.

Ved hjælp af en del af ovennævnte klimafaktorer kan graden af termisk komfort beregnes vha. et PMV-indeks (Predicted Mean Vote). Værdien angiver en statistisk forudsigtelse af, hvordan en større gruppe mennesker ville definere graden af komfort for et bestemt klima ved en bestemt aktivitetsgrad og beklædning. Ud fra PMV-indekset kan man derefter beregne et PPD-indeks (Predicted Percentage of Dissatisfied), som angiver, hvor stor del af en større gruppe mennesker, der finder et bestemt indeklima tilfredsstillende.

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0,303 \times \varepsilon^{-0,0036M} + 0,028) \{ (M-W) - 3,05 \} \times 10^3 \\ & \{ 5733 - 6,99(M-W) - p_a \} - 0,42 \{ (M-W) - 58,15 \} - 1,7 \times \\ & 10^{-5} \times M (5867 - p_a) - 0,0014 M (34 - t_a) - 3,96 \times \\ & 10^{-8} f_{cl} \{ (t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 \} - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \end{aligned}$$

Hvor:

$$\begin{aligned} t_{cl} = & 35,7 - 0,028(M-W) - 0,155 I_{cl} [3,96 \times \\ & 10^{-8} f_{cl} \{ (t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 \} - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)] \end{aligned}$$

$$\begin{cases} h_c = & \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{til } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1(v_r)^{0,5} \\ 12,1(v_r)^{0,5} & \text{til } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1(v_r)^{0,5} \end{cases} \\ f_{cl} = & \begin{cases} 1,00 + 0,2 I_{cl} & \text{til } I_{cl} < 0,5 \text{ clo} \\ 1,05 + 0,1 I_{cl} & \text{til } I_{cl} > 0,5 \text{ clo} \end{cases} \end{cases}$$

Forklaring:

M	= Metabolisme (W)
W	= Eksternt arbejde (W)
I _{cl}	= Beklædningsgrad (clo)
p _a	= Vanddampens partialtryk (Pa)
f _{cl}	= Beklædningens overfladefaktor, dvs. forholdet mellem bar hud og beklædt hud
t _{cl}	= Beklædningens overfladetemperatur (°C)
h _c	= Konvektivt varmeovergangstal (W/m ² °C)
t _r	= Middelstrålingstemperaturen (°C)
t _a	= Rumlufttemperaturen (°C)
v _r	= Relativ lufthastighed (m/s) = v + 0,005(M-58)
v	= Middelhastigheden i rumluften

Når man kender PMV-indekset, kan man beregne PPD-indekset:

$$\text{PPD} = 100 - 95 \times \varepsilon^{-(0,03553 \text{PMV}^4 + 0,02179 \text{PMV}^2)}$$

Med disse formler er det meget omstændigt på forhånd at beregne, hvad PPD-indekset bliver i bestemte tilfælde. Det bliver dog betydeligt nemmere med et klimasimuleringsprogram, som giver resultatet af PPD-indekset eller andre klimaindekser ved simulering af et rum. Lindab Comforts eget klimasimuleringsprogram TEKNOsim giver som resultat bl.a. lufttemperatur, operativ temperatur og PPD-indeks.

I følge Fangers formel kan højest 95% være tilfredse med et bestemt indeklima, dvs. mindst fem procent vil altid opleve, at et bestemt indeklima er utilfredsstillende (PPD= 5% og PMV = 0 angiver den bedste mulige termiske komfort). I Svenska Inneklimatinstitutets dokument R1, ref. [8], er de forskellige angivne klasserne for termisk indeklima baseret på PPD-indekset, som går fra <10% utilfredse for den højeste klasse til 20% utilfredse for den laveste klasse.

Loftsvarmevejledning

Kapitel II

Sådan fungerer loftsvarme

Lindab Comforts loftsvarmeprodukter udnytter hovedsageligt varmestråling til at overføre varme (ca. 60% af den samlede varmeeffekt). I dette kapitel beskriver vi principperne, som gælder for varmestråling.

Varmestråling

Varmestråling er en elektromagnetisk stråling, hvor bølgelængden ligger på ca. 9-15 mm ved overfladetemperaturer på ca. 30-70°C. Bølgelængden bliver kortere, jo varmere temperaturen bliver på en overflade, og længere jo koldere overfladen er. Varmestrålingen ved disse temperaturer er usynlig. Det er først når temperaturen på en overflade nærmer sig 600-800°C, at varmestrålingen bliver synlig.

Varmestråling sendes ud fra alle kroppe, der er varmere end et absolut nulpunkt (-273,16°C). Den absolutte varmestråling fra en krop er man sjældent interesseret i. Derimod er nettoudbyttet af strålingsenergi mellem to kroppe eller flader interessant for at kunne foretage tekniske beregninger.

Varmeoverførsel gennem stråling

Varmeoverførslen (nettoudbyttet) ved stråling afhænger af temperaturforskellen mellem fladerne, deres geometriske forhold og fladernes beskaffenhed. Varmemængden, P_s , mellem to flader formuleres i følgende formel:

$$P_s = \sigma F_{12} A_1 (T_1^4 - T_2^4) \text{ (W)}$$

hvor

$$F_{12} = \frac{1}{\frac{1}{f_{12}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{12}} - 1 \right) + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

Her er f_{12} en funktion af det geometriske forhold mellem fladerne A_1 og A_2 og kaldes vinkelfaktor. Vinkelfaktoren kan beregnes eller aflæses i diagrammer i vejledninger om varmeoverførsel. Ved beregning af varmestråling er det altid det projicerede areal af en overflade, der anvendes. Nettoudbyttet af varmestråling øges altså ikke fra en falsat eller riflet overflade sammenlignet med en glat overflade.

$$s = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

(Stefan-Boltzmanns konstant)

ε_1 = Den varmestrålende overflades emissionstal

ε_2 = Den modtagende overflades emissionstal

A_1 = Den varmestrålende overflades projicerede areal (m^2)

A_2 = Den modtagende overflades projicerede areal (m^2)

T_1 = Den varmestrålende overflades temperatur
(K = Kelvin som er $^\circ\text{C} + 273$)

T_2 = Den modtagende overflades temperatur (K)

Det er vigtigt at huske på, at strålingsudbyttet mellem to flader (f.eks. en loftsvarmer og et gulv) ikke aftager med afstanden, så længe luften, som strålingen passerer, er normalt ren. Dette skyldes, at luftens absorption af varmestrålingen er uden betydning, se herunder. Derimod aftager strålingens intensitet (effekt pr. fladeenhed), og dermed den overførte energi, mod en bestemt flade, hvis afstanden øges eller fladen vinkles. Dette påvirker vinkelfaktoren, der indgår i faktoren F_{12} , og beror på afstanden og vinklen mellem fladerne samt størrelsen og temperaturerne på fladerne. Et velkendt eksempel på strålingsintensitetens variation er solstrålingens intensitet i løbet af dagen og i løbet af året. Solstrålingen mod jorden varierer dels med afstanden til jorden og dels med vinklen mod jorden.

Den flade, der har den laveste temperatur, vil være modtager af nettoudbyttet af varmestrålingen. I forbindelse med loftsvarme er der altid omgivende rumflader, der er modtagere af varmestrålingen. Ved strålingsopvarmning vil de omgivende flader, der har lavere temperatur end strålingsvarmeren, absorbere varmestrålingen og derved øge sin temperatur, normalt nogle grader over rumlufttemperaturen.

Luftens betydning

Når varmestrålingen passerer gennem luften, absorberes stort set ingen stråling. Kuldioxidgasser (CO_2) og vanddamp (H_2O) absorberer og emitterer varmestråling, mens såkaldte elementære gasser (gas med en slags atomer) f.eks. O_2 , N_2 og H_2 er transparente til varmestråling. Med luftens sammensætning af forskellige gasser, hvor CO_2 (0,05 vægt%) og H_2O (0,7 vægt%) har meget lave koncentrationer og O_2 (21 vol%) og N_2 (79 vol%) har høje koncentrationer, kan luft betragtes som helt transparent til varmestråling med de tykkelser på luftlag, der er normale (< 20 m). Dog kan et unormalt højt partikelindhold i luften have en mindre betydning for varmeudbyttet mellem loftsvarmere og omgivende flader.

Loftsvarmevejledning

Emissionstal

Emissionstallet, ϵ , angiver, hvor stor andel af energien en flade udstråler sammenlignet med en perfekt strålingsflade, et såkaldt sort legeme. Emissionstallet er lig med 1 for et sort legeme og mellem 0 og 1 for alle andre materialer. Jo højere emissionstal des bedre fungerer fladen som en varmestråler og varmemodtager. Herunder vises emissionstallet vinkelret fra fladen for nogle materialer ved normale rumtemperaturer.

Aluminium, valsblank:	0,04
Kobber, poleret:	0,03
Glas:	0,94
Træ (bøg):	0,94
Tegl, puds:	0,93
Beton:	0,88
Hvid lak (Lindab Comforts loftsvarmere):	0,95
Mat sort lak:	0,97

Som det fremgår af tabellen, er alle flader, med undtagelse af metalflader, gode varmestrålere/varmemodtagere.

Værdierne viser, at en hvidlakeret overflade er næsten lige så god som en sortlakeret overflade. Det er bl.a. derfor, at Lindab Comforts loftsvarmepaneller er lakeret på undersiden, men ikke på oversiden. På oversiden af loftsvarmen er fladen normalt oxideret aluminium, som har et højere emissionstal end valsblank aluminium, men langt mindre end en hvidlakeret overflade. På denne måde kan strålingsenergien "styres" hen til undersiden af varmeren, hvor der er mest behov for den. For yderligere at styre varmestrålingen nedad er oversiden desuden isoleret.

En interessant observation er, at glas har et relativt højt emissionstal og at det ligger på samme niveau som nogle af de mest almindelige bygnings- og inventarmaterialer. Hvad angår glas, kan ingen lavtemperaturstråling passere gennem glasset, men al sådan stråling vil enten blive absorberes (ca. 88%) eller reflekteres (ca. 12%). Solens stråling, med betydelig højere temperatur og dermed kortere væglængde, slipper dog igennem. Dette forhold er grundlaget for begrebet "drivhuseffekt" i lige netop drivhuse og andre bygninger med store glasflader.

Termisk komfort ved varmestråling

Mennesket er i forhold til sine omgivelser en varm krop, og udstråler derfor også en del af varmeoverskuddet til omgivelserne. Når de omgivende flader har en højere temperatur end normalt, som er faldet ved strålingsopvarmning, er udstrålingen mindre fra kroppen. I et lokale med strålingsopvarmning vil en person derfor opleve omgivelserne varmere, da personens udstråling til de omgivende flader er mindre end ved konventionel opvarmning ved samme lufttemperatur.

På grund af dette kan man altså sænke lufttemperaturen ved strålingsopvarmning og stadig bevare samme operative temperatur. Normalt kan man sænke lufttemperaturen 1-2°C, ref. [4], og stadig opnå den nødvendige operative temperatur.

Varmestrålingen i et rum vil enten absorberes eller reflekteres. Ved absorption af strålingsvarme øges fladens temperatur. Ved normale inventar- og bygningsmateriale ligger den reflekterende andel af strålingen på kun ca. 5-10%, hvilket betyder, at det meste af varmestrålingen absorberes. Dette er den største anledning til, at overfladetemperaturen på et bords underside, ref. [1], ligger et par grader over lufttemperaturen. Alle flader, inklusive al inventar og møbler, absorberer varmestrålingen og bliver varmere end den omgivende lufttemperatur. Dette medfører, at både lufttemperaturen og den operative temperatur udjævnes i dele af rummet, som loftsvarmen ikke direkte "ser".

I ref. [1] angives forskellen mellem lufttemperatur under og ved siden af et bord til 0-0,9°C, afhængigt af målemetode. Det er registreret, at overfladetemperaturen på bordets underside er 0,7-3,2°C over lufttemperaturen. Dette viser, at bordet opvarmes af varmestrålingen fra loftet. I ref. [2] vises en forskel i lufttemperatur under og ved siden af en skolebænk til maks. 0,3°C. Forskellen i strålingstemperatur angives her til maks. 1,6°C. I følge vores målinger, der er foretaget i forskellige miljøer såsom børnehaver, kontor, skoler og industrier, så ligger forskellen i operativ temperatur på ca. 0,2-0,4°C hhv. under og ved siden af et bord.

Kuldenedfald

Det er mange faktorer, der påvirker, om og hvor kraftigt man oplever eventuelt kuldenedfald fra et vindue. Blandt de vigtigste hører vinduets U-værdi, vinduesnichens udformning, ventilationsprincip, luftarmaturets placering, luftarmaturets egenskaber, opvarmningssystem, personens beklædning og aktivitet, rummets geometri og møblering, infiltration og udetemperatur, ref. [5] [6] [7]. Det er altså ikke kun et spørgsmål, om varmeren er anbragt under vinduet eller i loftet.

Loftsvarmevejledning

Et indblæsningsarmatur med bagsideindblæsning med for lang kastelængde og lav indblæsningstemperatur kan være en årsag til kuldeneffald. Møbleringen kan med radiatorer under vinduet være en kritisk faktor, hvis der f.eks. anbringes et bord i nærheden af vinduet. Den opadgående varmluftstrøm fra radiatoren vil blive afskærmet under bordet og kuldeneffald vil "løbe" ud over bordet og derefter ned på gulvet, ref. [7].

I ref. [1] [2] og [3] vises forhøjede overfladetemperaturer på vinduets inderside afhængigt af, at glasfladerne absorberer varmestrålingen. Et fælles resultat for alle tre er, at strålingsvarmen fordeles forskelligt over vinduesfladen. Vinduets øverste del får en højere overfladetemperatur og den nederste del får en noget lavere temperatur. Der registreres en stigning på ca. 2-10°C, afhængigt af målepunktet og målemetoden. Det er vigtigt at gøre opmærksom på, at det i samtlige tilfælde drejede sig om toglassvinduer. I moderne huse med treglassvinduer vil temperaturstigningen blive endnu større. Vores egne målinger af overfladetemperaturer på vinduer, som opvarmes af loftsvarmere, viser, at toglassvinduer får en overfladetemperatur på 12-17°C og treglassvinduer får 17-20°C ved en udetemperatur på mellem 0°C og -5°C.

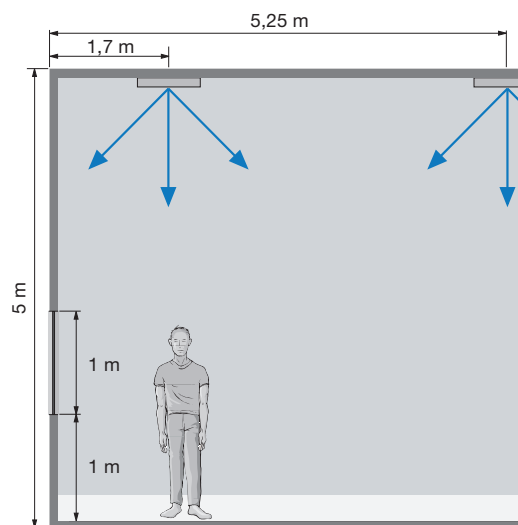
I ref. [2] registreres, at et lokale med vindueskarm har en gunstig effekt på kuldeneffald fra vinduet. Dette skyldes, at vindueskarmen dels opvarmes af loftsvarmen og dels afleder den nedadgående luftstrøm og dermed blander den varmere rumluft ind.

Beregningseksempel

Formlen til strålingsvarmeoverførsel siger, at temperaturforskellen mellem to flader spiller en forholdsvis stor rolle, specielt når temperaturen angives i Kelvin og øges til fire. Formlen siger os også, at der automatisk går mere varmestråling til de koldere flader end til de varmere, og det er jo et forhold, der er ideelt for et varmesystem.

I dette diagram vises, hvordan varmestrålingen fordeles sig over en vægoverflade (ydervæg). Beregningen af varmeudbyttet mellem loftsvarmere og væggen er foretaget for hver decimeter af væggen iht. formlerne i kapitel II og med formler for vinkelfaktorer. Der er monteret to loftsvarmere i loftet parallelt med væggen på hhv. 1,7 m og 5,25 m fra væggen. Disse mål er hentet fra diagrammet, som beskriver placeringen af loftsvarmere i kapitel V. De antagne forhold gælder på en kold vinterdag.

En interessant observation er, at de to panelers varmestråling har deres maksimum for forskellige dele af væggen. Dette skyldes, at det geometriske forhold, dvs. vinkelfaktoren, er forskellige for de to varmepaneller i forhold til væggen.



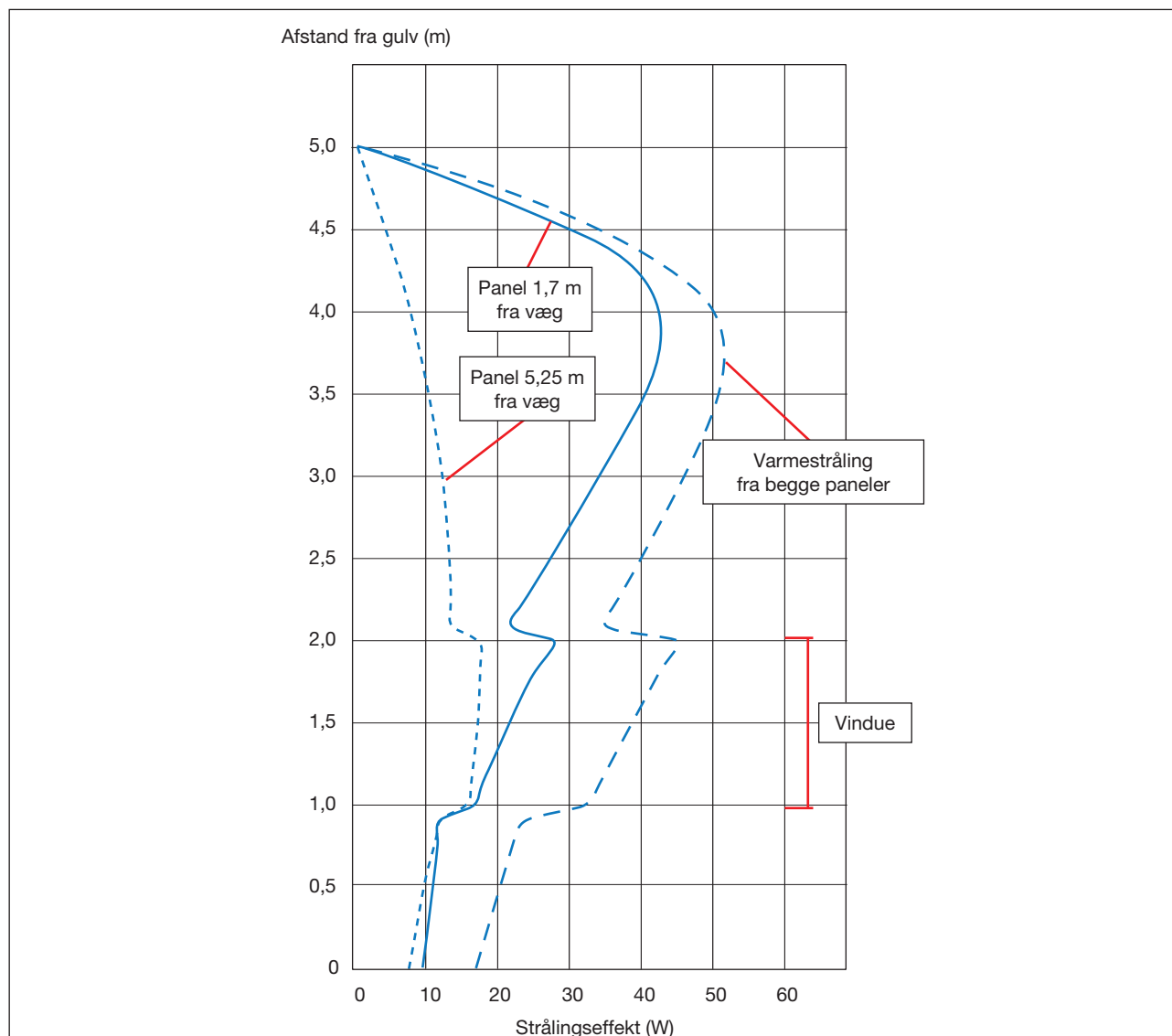
Det antagne rum i beregningseksemplet.

Det fremgår også tydeligt, at vinduet får en stor andel af varmestrålingen sammenlignet med væggen ved siden af vinduet. Årsagen til dette er, som nævnt herover, at vinduesfladen er koldere og derfor "suger" mere strålingsvarme til sig. Dette medfører, at vinduesfladen vil varmes betydeligt mere op, end hvis rummets varmekilde var helt konvektiv, f.eks. en luftvarmer med ventilator. At vinduesfladen varmes til ca. +15°C, medfører, at risikoen for kuldeneffald fra vinduet reduceres væsentligt.

For at sammenfatte kan man konstatere, at til anvendelse af loftsvarme i bygninger og lokaler gælder følgende:

- Emissionstallet for flader i huset er relativt ens, ca. 0,88-0,95.
- Loftshøjder spiller ingen rolle for overførsel af strålingsvarme fra loftsvarmere til de øvrige flader.
- Overførslen af strålingsvarme bliver automatisk større, hvis den modtagende flade har en lavere overfladetemperatur.
- Lufttemperaturen kan normalt sænkes med 1-2°C, mens den operative temperatur bevares, hvilket skyldes, at de omgivende flader opvarmes af loftsvarmesystemet.
- Med loftsvarme vil der være små forskellige i lufttemperaturen og den operative temperatur hhv. under og ved siden af et bord.
- Strålingsvarmen fra loftspanellerne opvarmer inder siden af et vindue, så risikoen for kuldeneffald mindskes.

Loftsvarmevejledning



Billedet viser, hvordan den overførte varmeeffekt fra to paneler fordeler sig på en ydervæg med vindue.

Følgende inddata er anvendt:

- Væggen:
- højde: 5 m
 - bredde: 10 m
 - emissionstal: 0,9
 - overfladetemperatur: 22°C
- Vindue:
- brystningshøjde: 1 m
 - vindueshøjde: 1 m
 - bredde: 10 m
 - emissionstal: 0,94
 - overfladetemperatur: 15°C
- Loftsvarmere:
- bredde: 1 m
 - længde: 10 m
 - emissionstal: 0,95
 - overfladetemperatur: 40°C
 - installationshøjde: 5 m

Loftsvarmevejledning

Kapitel III

Hvor fungerer en loftsvarmer godt?

Loftsvarme har et meget bredt anvendelsesområde, bredere end de fleste andre opvarmningsformer. Generelt kan man sige, at loftsvarme kan anvendes som opvarmning i stort set alle typer ejendomme. Loftsvarme anvendes mest i forskellige lokaler, som f.eks. idrætshaller, værksteder, industrihaller, lagre og indkøbscentre. Men også i lokaler som børnehaver, hospitalsstuer, boliger, skoler og laboratorier fungerer loftsvarme udmærket.

En loftsvarmers effektafgivelse er ca. 40% konvektiv og ca. 60% stråling. Den konvektive varme afgives til luften ved loftet og bidrager til at dække transmissionstab gennem loftet. Andelen af varme, der overføres gennem stråling, kommer hovedsageligt gulv og vægge til gode.

Når det gælder varmetab ved transmission gennem vægge, loft og gulv, er det normalt for en bygning, at ca. 40% af varmen går ud gennem loftet og ca. 60% gennem resten af bygningen. Derfor er loftsvarme, sammen med alle andre fordele, aldeles udmærket til opvarmning af stort set alle bygninger. Herunder vises en transmissionsberegning for en bygning, og resultatet viser, at fordelingen af transmissionstab er i størrelsesordenen, der er beskrevet herover.

Inddata:

DUT ₁₀ :		20°C
Årsmiddeltemp.:		6°C
U-værdi	Loft:	0,2 W/m ² , °C
	Væg:	0,2 W/m ² , °C
	Gulv, indre:	0,3 W/m ² , °C
	Vindue:	2,0 W/m ² , °C
Areal	Loft:	800 m ²
	Vægge:	600 m ²
	Gulv, i:	680 m ²
	Gulv, y:	120 m ²
	Vindue:	30 m ²
	Temperaturgradient:	0,7°C/m
	Loftshøjde (middel):	5,0 m
	Længde:	40 m
	Bredde:	20 m
	% Vinduesareal:	5% af vægareal
Indetemp.	Opholdszone:	18°C
	Middel:	20°C
	Loft:	22°C

Uddata:

Effektbehov:	Loft:	6640 W	38%
(transmission)	Vægge:	4770 W	28%
	Gulv, i:	2448 W	4%
	Gulv, y:	2448 W	7%
	Vindue:	2280 W	13%
	I alt:	17278 W	100%

Loftsvarmevejledning

Kapitel IV

Konstruktionskrav til en loftsvarmer

Konstruktioner og tekniske løsninger på loftsvarmere varierer blandt de forskellige fabrikanten. Kravene til en velfungerende loftsvarmer er dog de samme, og kommer i høj grad fra de fysiske love, som styrer varmeoverførsel.

Grundlæggende krav til en loftsvarmer

Et af de vigtigste krav man bør stille en loftsvarmer, er at temperaturen skal være så jævn som muligt over dens flader. Herigennem opnås en maksimal effektafgivelse pr. fladeenhed. Hvis man har en vandtemperatur på et varmesystem på f.eks. 55-45°C eller 60-40°C, dvs. en middelvandstemperatur på 50°C $(55+45)/2$, skal temperaturen på hele produktets flade helst også gå op til 50°C. Dette er dog både praktisk og teoretisk umuligt (det ville kræve uendelig varmekonduktivitet), da varmetabet vil ske på vej fra vandet i røret til produktets overflade. Målsætningen bliver derfor at mindske disse varmetab i så høj grad som muligt. Herunder er beskrevet, hvordan denne målsætning kan optimeres, samt hvordan andre krav kan opfyldes.

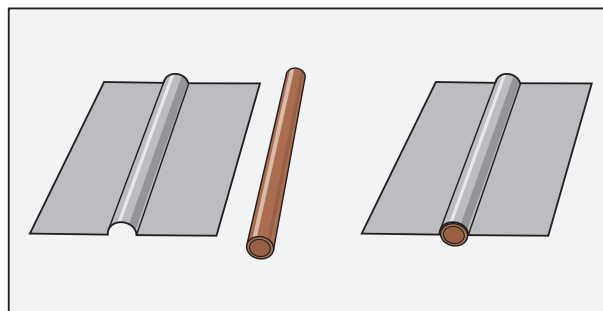
Hvordan skal en velkonstrueret loftsvarmer se ud?

Der findes en række bedømmelsesprincipper til kvalitet, funktion og levetid for en loftsvarmer. Disse er:

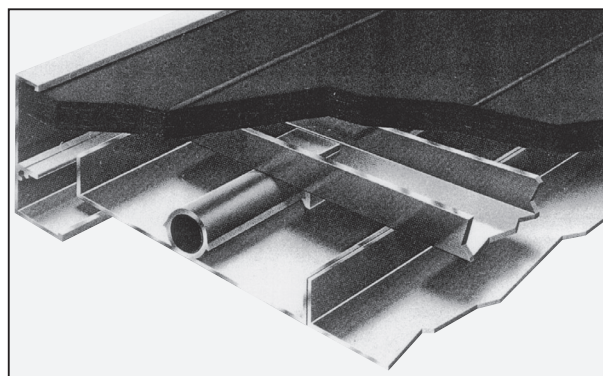
1. Materialevalg
2. Hvor effektiv er forbindelsen/kontakten mellem rør og flange
3. Optimering af loftsvarmeren; varmeeffekt/omkostning
4. Hvor godt testet er produktet
5. Hvor nemt er produktet at montere
6. Fleksibilitet
7. Finish
8. Produktets struktur

Det grundlæggende princip for alle vandbårne loftsvarmeprodukter er helt identisk. Det er baseret på et vandledende rør og en strålingsflade (flange). Røret skal forbindes med flangen, så varmen fra vandet ledes gennem rørvæggen til flangen (se billede 1). Temperaturen på flangen stiger, og man opnår en varmestråling fra produktet.

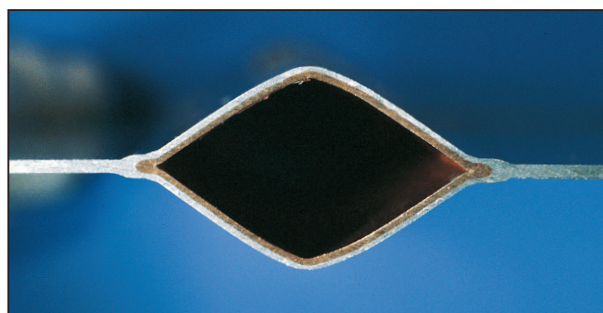
For at opnå den tiltænkte effekt i lokalet er loftsvarmeren isoleret på oversiden, så unødigt varmestråling forhindres i at nå loftsladen.



Billede 1. Grundlæggende element i en loftsvarmer.



Billede 2. Røret udvidet inde i en aluminiumsprofil.



Billede 3. Tværsnit af Lindab Comforts grundelement. Kobberrøret og aluminiumsflangen er metallurgisk forbundet gennem Lindab Comforts verdenspatent.

1. Materialevalg

Materialevalget har en afgørende betydning for varmeeffekten og produktets levetid. I Skandinavien anvendes i dag kun aluminium som materiale i flangen. Bette skyldes, at aluminium leder varme meget effektivt samtidigt med, at vægten på produktet bliver lav. Materialet i røret består enten af stål eller kobber. Der er flere fordele ved at anvende kobberrør:

- Korrosionsrisikoen er betydeligt lavere sammenlignet med rør i stål
- Vægten på produktet mindskes og materialeudvidelsen (se næste side) bliver mere jævn.
- Man får også en betydeligt lettere montering ved at anvende kobberrør.

Loftsvarmevejledning

2. Forbindelse mellem rør og flange

Når materialet er valgt, skal man samle rør og flange for at opnå en så god kontakt/forbindelse som muligt mellem disse. Hvor god forbindelsen mellem rør og flange er, påvirker i højeste grad, hvor godt en varmestråler vil fungere. I dag anvendes tre metoder til oprettelse af denne forbindelse.

1. Ved hjælp af forskellige metoder skrues, svejses, klemmes eller klikkes begge flader sammen (se billede 1 på forrige side).
2. Et rør, der typisk er lavet af kobber, føres ind gennem en aluminiumsprofil, der er formet som et rør og flange i en enhed. Røret forlænges derefter i profilen for at opnå en god kontakt mellem de forskellige materialer. Se billede 2 på forrige side.
3. Under meget højt tryk (ca. 50 ton) vales et kobberør sammen med en aluminiumsflange, så der på denne måde dannes en enkelt enhed. Kobberøret pustes derefter op til normal størrelse og bliver rombeformet (se billede 3 på forrige side).

De to førstnævnte metoder forbindelser mellem rør og flange er altså helt mekanisk. Det er ikke svært at forestille sig, at en forbindelse, der er foretaget mekanisk, ikke giver en optimal varmeoverførsel. Flere eksperimenter med sådanne løsninger, ref. [14], viser betydelige effekttab – ikke mindst efter længere tids anvendelse. Sidstnævnte metode giver en metallurgisk binding (materialer blandes delvist vha. en molekylær forbindelse).

Skal man kvalitetsbestemme disse metoder, kan man sige, at de to sidstnævnte er gode løsninger, hvis de er udført korrekt. Den første løsning er af flere årsager en betydeligt dårligere metode. Dette skyldes først og fremmest, at forskellige materialer udvides forskelligt, når de udsættes for varme. Forskellen i udvidelsen mellem stål og aluminium er betydeligt større end forskellen i udvidelsen mellem kobber og aluminium. Der sker det, at aluminiumspladen "bevæger" sig væk fra ståløret, hvilket resulterer i, at kontakten mellem rør og flange afbrydes, eller med andre ord – varmeeffekten fra produktet mindskes. Desuden bliver disse typer konstruktioner følsomme for, hvordan produktet behandles i produktionen, leveringen og ved monteringen.

Også her kan kontakten mellem rør og flange mindskes ved forkert håndtering.

En metallurgisk forbindelse (metode nr. 3) giver de fleste fordele. Materialeudvidelsen bliver helt jævn, risikoen for korrosion er minimeret og der er ingen afbrydelse af kontakten mellem rør og flange pga. håndtering i forbindelse med produktion, transport eller montering.

Udvidelseskoefficienter for forskellige materialer:

Aluminium	24
Kobber	16
Stål	12

Af dette fremgår, at det er direkte teknisk forkert at forbindelse de forskellige metaller på mekanisk vis, da dette medfører effekttab i produktet. Dette under forudsætning af, at den punktvis kontakt mellem rør og flange ikke er uendeligt mange, regnet i antal kontaktpunkter. Hvis den punktvis forbindelse er udført med for lang afstand, vil aluminiumspladen (strålingsfladen) bevæge sig fra stål- eller kobberøret, hvilket medfører effekttab. Mekanisk forbindelse af et stålør med en aluminiumsplade giver den dårligste termiske kontakt.

Eksempel:

Forudsætning: Et stålør forbindes mekanisk (punktvis) hver meter med en aluminiumflange.

VS:	80/60°C
Rum:	20°C

Resultat: Aluminiumflangen vil bevæge sig 0,6 mm fra ståløret, dvs. kontakten kun vil blive punktvis og vil kun ske på det sted på produktet, hvor der vil ske en effektiv varmeoverførsel.

Galvanisk korrosion

Denne problematik bliver mere aktuell i et kuldefald ved anvendelse af køleloft, hvor man risikerer kondensdannelse i visse perioder af året. Det kan dog blive aktuelt ved opvarmning, hvis der er høj fugtighedsgrad i lokalet eller hvis man skal rense produkterne, særligt når disse ikke er udsat for varmeeffekten. For at finde ud af, hvor stor risikoen er i disse tilfælde, henvises til tabellen på næste side.

Loftsvarmevejledning

Standard potentiale-serier i forhold til normale hydrogenelektroder		Galvanisk serie i 3 procent NaCl i forhold til normale hydrogenelektroder	
	Me/Me ⁿ⁺	Me/Me ₂ Z ₂ , pH7	
Pt/Pt ²⁺	+1,20V	+0,57/Pt/PtO	Pt +0,47V
Ag/Ag ⁺	+0,80V	+0,22(Ag/AgCl)	Ti +0,37V
Cu/Cu ²⁺	+0,34V	+0,05(Cu/Cu ₂ O)	Ag +0,30V
H ₂ /H ⁺	±0,00V	-0,414(H ₂ /H ₂ O)	Cu +0,04V
Pb/Pb ²⁺	-0,13V	-0,27(Pb/PbCl ₂)	Ni -0,03V
Ni/Ni ²⁺	-0,25V	-0,30(Ni/NiO)	Pb -0,27V
Fe/Fe ²⁺	-0,44V	-0,46(Fe/FeO)	Fe -0,40V
Zn/Zn ²⁺	-0,76V	-0,83(Zn/ZnO)	Al -0,53V
Ti/Ti ²⁺	-1,63V	-0,50(Ti ₂ O ₃ /TiO ₂)	Zn -0,76V
Al/Al ³⁺	-1,67V	-1,90(Al/Al ₂ O ₃)	

Standardpotentialserier (elektrokemiske spændingsserier) og galvanisk serie til nogle almindelige metaller.

Galvanisk korrosion opstår ved sammenkobling af to metaller med forskelligt elektrodepotentiale. Der sker det, at der udsiver aluminiumhydroxid (ligner lidt mel) på det aluminium, der ligger tættest på røret. Denne belægning hindrer da varmen i at nå ud fra røret til flangen (strålingsfladen), hvilket derefter medfører effekttab på loftsvarmen. Forudsætningen for denne proces er, at der skal kunne trænge fugt ind mellem de forskellige materialer.

Tabellen viser, at man bør undgå mekaniske forbindelser mellem kobber og aluminium, men også mellem stål og aluminium.

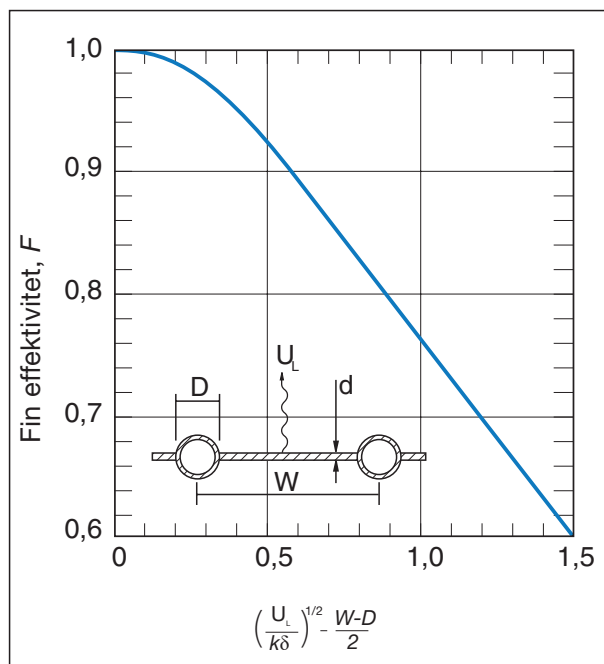
I visse typer lokaler, hvor man forventer en fugtighedsgrad i visse perioder, eller hvor man af hygiejniske årsager ønsker at rense produkterne, bør man undgå produkter med en mekanisk kontakt (konstruktion 1). Hvis der trænger fugt ind mellem kobberøret/stålrøret og aluminiumsflangen, er der risiko for galvanisk korrosion.

3. Optimering af loftsvarmen

Hvor god varmeoverførslen mellem rør og flange er samt hvor godt flangen formår at udlede varmen, kan beskrives med begrebet flangevirkningsgrad. Flangevirkningsgraden er et mål, der beskriver tabet i varmeoverførsel i en flange pga. ujævnheder i effektfordelingen over flangens flader.

Denne flangevirkningsgrad kan udregnes teoretisk. Dette bevirker, at man hermed også kan optimere flangetykkelse, c/c afstand mellem rørrækker, inkluderet materiale og rørdiameter.

Bemærk Diagrammet gælder ved perfekt (homogen) kontakt mellem rør og flange.



Flangeeffektivitet for rør og flange i homogen kontakt.

Forklaring:

D: Rørdiameter, ydre.

d: Flangetykkelse

w: c/c afstand rørrækker

U_L : Varmebelastning i alt pr. fladeenhed $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ – er ca. 11 ved frithængende montage

k: Varmekonduktivitet (varmeledningstal)

Af formelen fremgår det, at der kan opnås en øget flangevirkningsgrad ved:

1. At anvende materiale med høj varmeledningsevne.
2. Tykkere flange.
3. Forøgelse af rørdiameteren (udtrykket for flangevirkningsgraden tager dog ikke hensyn til, at en forøgelse af rørdiameteren sænker Reynolds-tallet og øger risikoen for omskift til laminar strømning, der betydeligt forringer varmeovergangen mellem vandet og rørvæggen.
4. At mindske c/c afstanden mellem rørrækkerne.

Loftsvarmevejledning

Varmeledningsevne

For at besvare punkt 1 i foregående afsnit skal man kende varmekonduktiviteten for de metaller, der kan blive aktuelle.

Materiale	Varmekonduktivitet (W/m K)
Aluminium	218
Kobber	385
Stål	84
Sølv	420
Guld	300
Tin	65
Nikkel	88

Nogle af disse metaller kan man se helt bort fra, når det gælder omkostning. De metaller, der kan blive aktuelle i flangen, er som tidligere nævnt aluminium, kobber eller stål. Årsagen til, at man vælger aluminium, fremgår af nedenstående tabel.

Materiale/egenskab	Vægt	Holdbarhed
Aluminium	1 kg*	1 N/m ²
Kobber	2 kg	0,6 N/m ²
Stål	4 kg*	6 N/m ²

**) Indeks = 1 til Al. Tabellen er til at opnå den samme flangevirkningsgrad, dvs. ved kompenseret flangetykkelse.*

Endnu en årsag til at anvende aluminium er, at aluminium har en meget god ydre korrosionsbestandighed.

Et eksempel:

Hvordan påvirkes flangetykkelsen, hvis man anvender kobber eller stål i stedet for aluminium og hvis man holder flangevirkningsgraden konstant?

Kobber: Flangetykkelsen kan stort set halveres for at opnå samme virkningsgrad.

Stål: Flangestørrelsen skal øges med en faktor 2,5.

Rørledning

Rørledningen har en betydning for den varmeeffekt, man opnår på produktet. Jo tættere rørledning des mere jævn overfladetemperatur og dermed højere effekt, eller om man vil, des mindre varmeplader behøver man installere i lokalet. Det mest optimale til varmeafgivelse skulle med andre ord være kun at installere varme rør i loftet. På grund af omkostningen, materiale + installation, kan dette ikke lade sig gøre. Man skal i stedet regne ud, hvilken rørledning, der er optimal uden at miste for meget varmeeffekt.

4. Hvor godt testet er produktet?

I de tilfælde hvor produktet er testet af et uafhængigt testinstitut, kan man få klare beviser på produktets kvalitet og levetid. Lindab Comforts loftsvarmere har gennemgået mange ekstreme test. Her er et udvalg af disse:

1. Produkterne har ligget ubeskyttet udenfor i ti år (i form af solfangere) for at konstatere evt. korrosionsrisici.
2. Udvidelsestest. Man har i gentagne tilfælde udsat fladerne for temperatur på 200°C og siden chokeret fladerne med 10°C vand for at se, om forskellen i udvidelsen mellem kobberet og aluminiumsflangen påvirker produktet.
3. Tryktest. I løbet af 5.000 cyklusser har man tryktestet produkterne med et tryk på 10-12 bar for at fastslå materialetræthed og for at opdage evt. revnedannelser i konstruktionen.

De to sidstnævnte tests er udført ved Statens Provningsanstalt. Man har i ingen af tilfældene kunne finde nogen som helst kvalitetsforringelser i produktet.

5. Nem at montere

Kan man fremstille et produkt med lav vægt, der samtidigt er stabilt i sin konstruktion, vil man opnå en lavere samlet omkostning (produktpris + installationsomkostning) sammenlignet med andre tilfælde. Materialevalget bliver afgørende for et godt resultat, men også produktets opbygning og sammensætning er af betydning. En lav vægt giver også fordele i form af en lavere belastning på loftskonstruktionen.

6. Fleksibilitet

Med fleksibilitet menes, hvor godt produktet kan tilpasses efter nye inddelinger i det eksisterende lokale. Fleksibiliteten får stor betydning for ejendommejerere, som i løbet af bygningens levetid vil leje den ud til flere lejere, eller hvor der kan forekomme forandringer i lokalets layout. Klimasystemet skal ikke sætte begrænsninger for, hvilken type aktivitet lokalet skal anvendes til. Hvis lokalet har været anvendt som lager, skal klimasystemet ikke være en hindring for at ændre lokalet, så det passer til fabriktionsindustrien, hvor man f.eks. vil fastgøre maskiner i gulvet. Produkterne skal nemt kunne flyttes i loftet til der, hvor der er mest behov for dem. En forudsætning for dette er præfabrikerede enheder, der er nemme at tilslutte og sammenkoble.

Loftsvarmevejledning

7. Produktets finish

Når det gælder finish, er overfladebehandlingen af største betydning. En automatiseret produktion med et godt udført forarbejde sammen med en ovnlakeret overflade giver en høj kvalitets finish.

8. Produktets struktur

For at opnå den ønskede effekt fra loftsvarmeren skal overfladen være glat for at forhindre unødige luftbevægelser (konvektion). Andelen af stråling skal være så høj som muligt for at opnå den ønskede effekt – både hvad angår komfort og driftsomkostninger. Isoleringen på oversiden skal være så god, at varmeeffekten koncentrerer sig til undersiden af loftsvarmeren.

Produkter i helaluminium

De typer af produkter, hvor både rør og flange er af aluminium, forekommer sjældent. Dette skyldes den åbenbare korrosionsrisiko, der forekommer, når vandet ledes ind i et aluminiumsrør.

Korrosionen kaldes grubetæring, og forekommer altid og meget hurtigt, når vandet ledes i aluminium. Lækagerisikoen vil opstå inden for få dage. For at forhindre denne type korrosion, tilsættes vandet såkaldte inhibitorer, dvs. forskellige typer kemikalier, for at bremse korrosionsforløbet. Problemet med inhibitorerne er, at de løbende forbruges og man skal derfor løbende tilføje nye for at forhindre korrosionsrisikoen. Hvis indholdet af inhibitorer bliver for lavt, kan inhibitorerne gøre mere skade end gavn, dvs. fremskynde korrosionsprocessen.

Loftsvarmevejledning

Kapitel V

Placering af loftsvarmere

Grundreglen ved placering af loftsvarmere i et rum eller et lokale er, at fordelingen af loftspaneler skal være så jævn som muligt. Panelerne bør desuden placeres i forhold til de omgivende fladers varmetab, dvs. en større andel af den varmeafgivende flade skal lægges ved facade- og vinduesfladerne for dels at dække varmetabet og dels opvarme vinduesfladerne for at modvirke eventuelt kuldenedfald.

Ved valg af ventilationssystem eller placering af luftarmatur behøver man ikke tage hensyn til loftsvarmesystemet. Selve loftsvarmen forårsager ikke luftbevægelser. Ref. [10] og [11] har undersøgt luftbevægelser i rum med loftsvarme. Resultatet er, at der forekommer yderst små luftbevægelser i disse rum. Det er kun i nærheden af en kold ydervæg, at der kan registreres lufthastigheder, som overstiger 0,03 m/s. De lufthastigheder, der normalt forekommer i et rum, 0,1-0,2 m/s, forårsages af ventilation og konvektive luftbevægelser ved mennesker og varme apparater.

Her gives anvisninger til, hvordan en ideel placering af varmepanelerne bør være. I virkeligheden findes der dog ofte forhindringer til at placere loftsvarmerne ideelt. Det kan være loftsbjælker eller andre konstruktioner i loftet, belysningsarmatur eller andre installationer, der kommer i vejen. Desuden kan man spare på omkostninger for rørlægning ved at forenkle fordelingen af varmepaneler og dermed ikke opnå en ideel placering.

Det er dog vigtigt at påpege, at anvisningerne herunder kun er anbefalede værdier. Hvis det ikke er muligt at opnå de anbefalede værdier, og afvigelsen fra disse er stor, bør man tage kontakt med os for at sikre, at der ikke vil blive nogen problemer.

Hvis der er tale om en mindre afvigelse, vil det i de fleste tilfælde gå godt. Mennesker ikke så tilbøjelige til at opleve ubehag ved de små forskelle i varmestråling, der kan opstå, hvis den anbefalede deling ikke kan opnås.

Følgende tommelfingerregel bør man forsøge at følge for at opnå en så jævn fordeling af varmestrålingen som muligt.

Mod ydervæg uden vindue skal panelet tættest på vægges lægges iht. følgende.

Med den angivne afstand fra ydervæg ved forskellige loftshøjder opnås en fordeling af varmestrålingen på ca. 60-70% mod ydervæggen og ca. 30-40% mod gulvet, hvilket svarer til den omtrentlige fordeling af transmissionsstab langs en ydervæg og flade og den indre kantzone på gulvet, som dækkes af et loftsvarmepanel/varmestrips. Strips eller paneler skal normalt ikke vinkles for at rette varmestrålingen mod f.eks. en ydervæg.

Normal deling mellem loftsvarmerne iht. nedenstående er en forudsætning for dette.

Mod en ydervæg med vindue: Hvis ydervæggen indeholder normale eller store glasflader, kan panelerne lægges tættere på væggen.

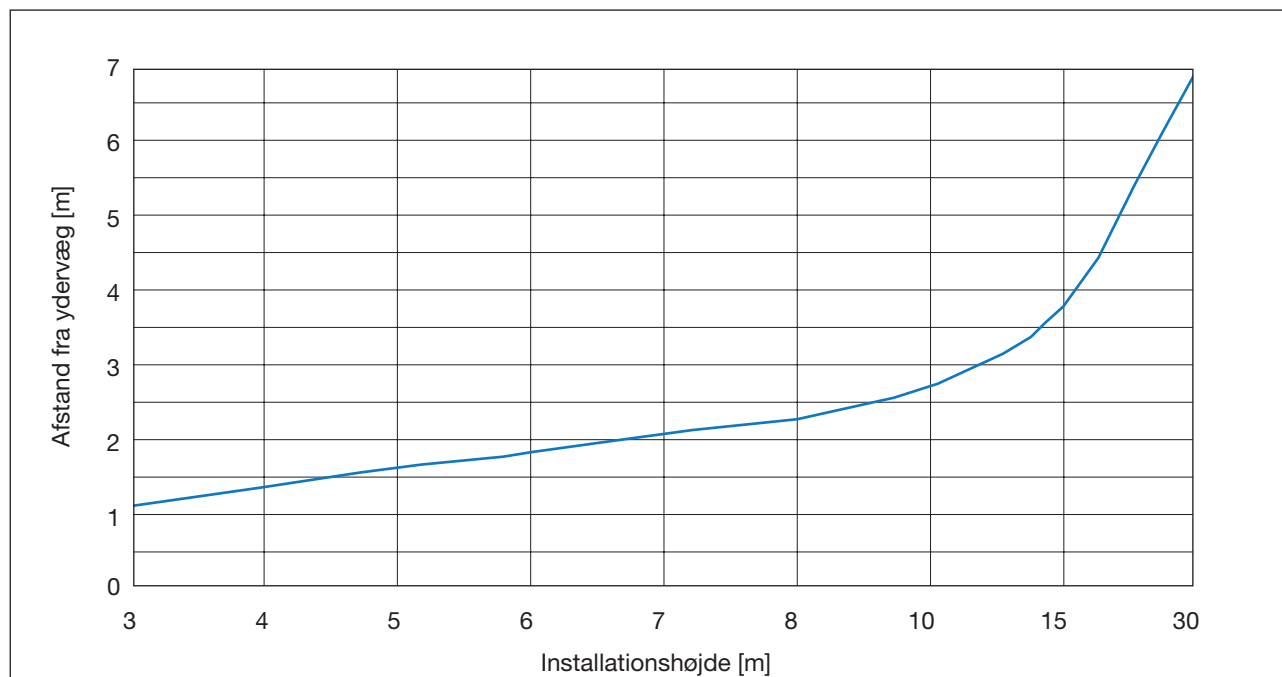
Der bør ske en fortætning af varmeeffekten for at mindske risikoen for eventuel kuldenedfald og for at opnå den nødvendige driftstemperatur. Ved mindre vinduer behøves ingen fortætning. Tommelfingerregler er svære at give i disse tilfælde, da variationerne i vinduesstørrelser og bygningsudformninger er store.

Deling mellem paneler/strips fremgår af nedenstående diagram. I diagrammet vises de anbefalede delinger mellem paneler/strips som funktion af installationshøjden. Med den anbefalede deling opnås en varmestråling, der er lige stor lige mellem loftsvarmerne som lige under dem, dvs. varmestrålingen bliver så jævnt fordelt som muligt.

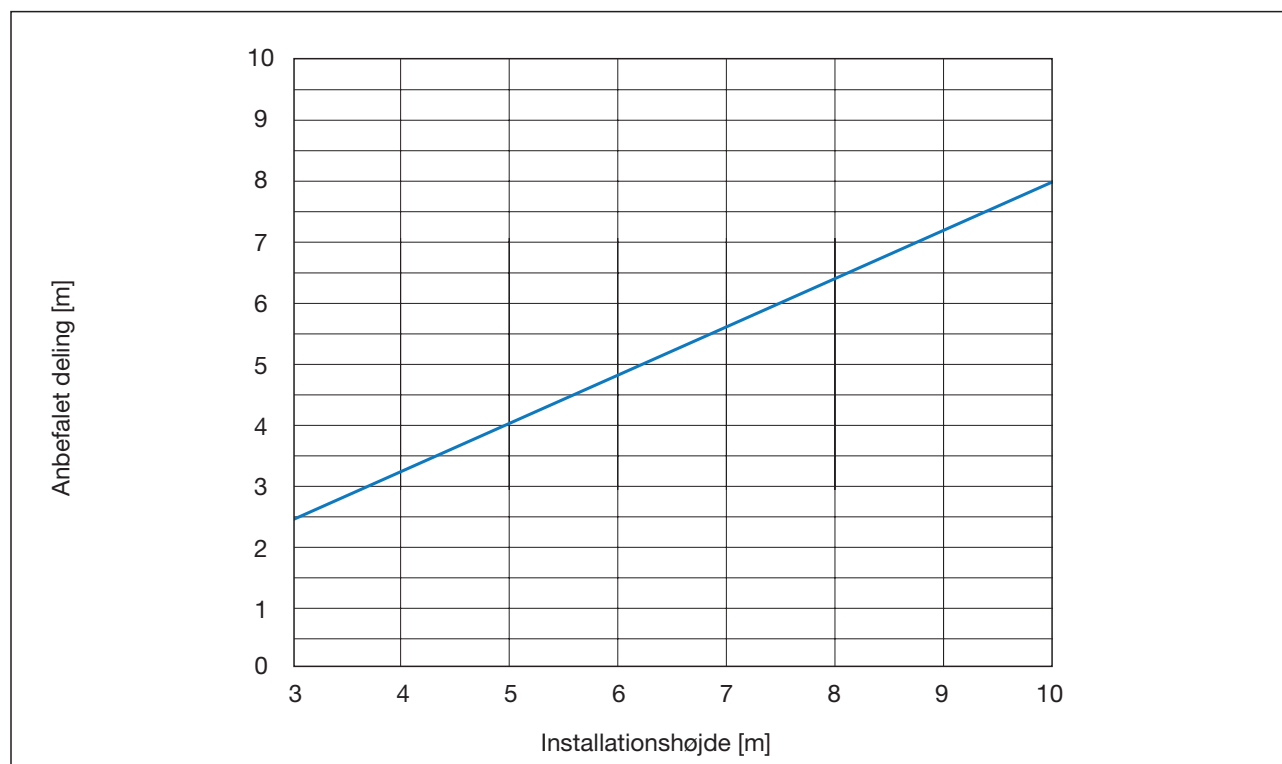
Loftsvarmevejledning

Kapitel V

Placering af loftsvarmere



Anbefalet afstand mellem loftsvarmeren tættest på ydervæggen og ydervæg (uden vindue).



Anbefalet afstand mellem paneler ved loftsvarme.

Loftsvarmevejledning

Kapitel VI

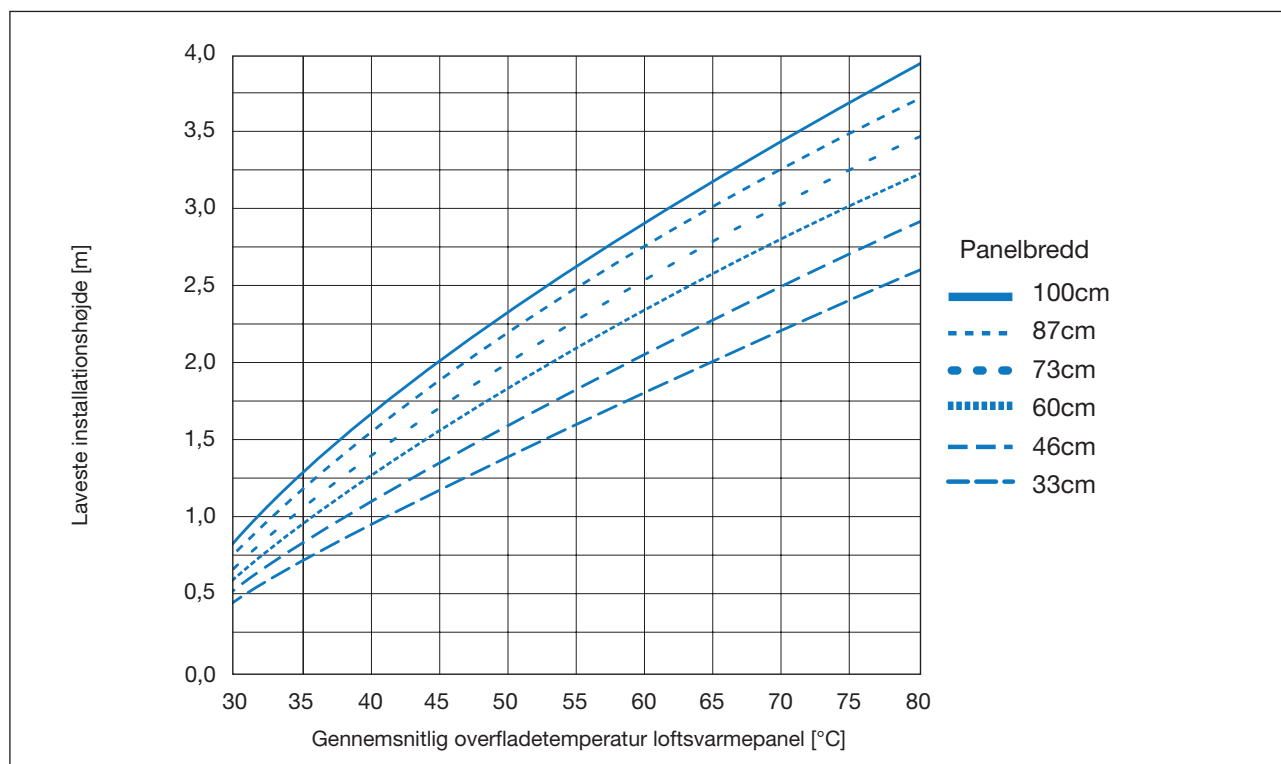
Temperatur og påkrævet installationshøjde

Temperaturen på loftvarmerne, dvs. temperaturen i varmesystemet, påvirker effektafgivelsen, hvilket vi tager op i kapitel VII, men det påvirker også oplevelsen af varmen fra loftvarmerne. Spørgsmålet "Bliver det for varmt på hovedet?" høres tit. I dette kapitel gennemgår vi forudsætningerne for, hvordan loftvarmerens temperatur og installationshøjde påvirker klimaoplevelsen.

Det er bl.a. bygningens installationer og varmekilder, antallet og størrelsen på loftspaneler, loftshøjde, strålingstemperatrasymmetri og operativ temperatur, der påvirkes af eller påvirker temperaturniveauet. Det er vigtigt at påpege, at der ikke kræves højere temperaturniveau i varmesystemet, jo højere loftshøjden er. Årsagen til dette er beskrevet i kapitel II.

Oftest går man ud fra et valgt temperaturniveau og bestemmer derefter, nøjagtigt som for konventionelle varmesystem, antallet og størrelsen på loftsvarmepaneller for at dække det dimensionerende varmeeffektbehov (se kapitel VII). Antallet af størrelsen skal givetvis kombineres, så loftsvarmepanellerne fordeles på lokalets overflader (se kapitel V). Desuden skal strålingstemperatrasymmetri og retningsbestemt operativ temperatur kontrolleres, hvis disse værdier er foreskrevet.

Når fordelingen af loftspaneler er foretaget, baseret på varmeeffektbehovet, lokalets geometri og mht. inventar og øvrige installationer, skal der foretages en kontrol af strålingstemperatrasymmetrien (STA). STA defineres som forskellen i plan strålingstemperatur på begge sider af en lille overflade (se også kapitel I). Plan strålingstemperatur beregnes ved hjælp af målte overfladetemperaturer og vinkelfaktorer, eller måles med en strålingstemperaturmåler. STA måles i et plan 0,06 m over gulvet ved siddende aktivitet eller 1,1 m over gulvet ved stående aktivitet. Svenska Inneklimatinstitutet, ref. [8], samt ISO-normen 7730 angiver STA til maks. 5°C ved loftsvarme.



Laveste installationshøjde for loftsvarmere ved strålingstemperatrasymmetri på 5°C. Loftsvarmerens længde 3,6 m.

Loftsvarmevejledning

STA måles normalt lige under en loftsvarmer og afhænger af installationshøjden, overfladetemperaturen og størrelsen på loftsvarmeren samt øvrige omgivende fladers temperaturer. For at undgå omfattende beregningsarbejde vises herunder et diagram, der angiver den laveste tilladte installationshøjde, for at STA ikke skal overstige 5°C. De forskellige kurver angiver forskellige bredder på loftspanelerne. De forskellige diagrammer gælder for forskellige længder på loftspaneler (3,6m og 10m). Ved præsentationen af disse kurver gælder forudsætningen, at alle øvrige omgivende flader antages at have samme temperatur.

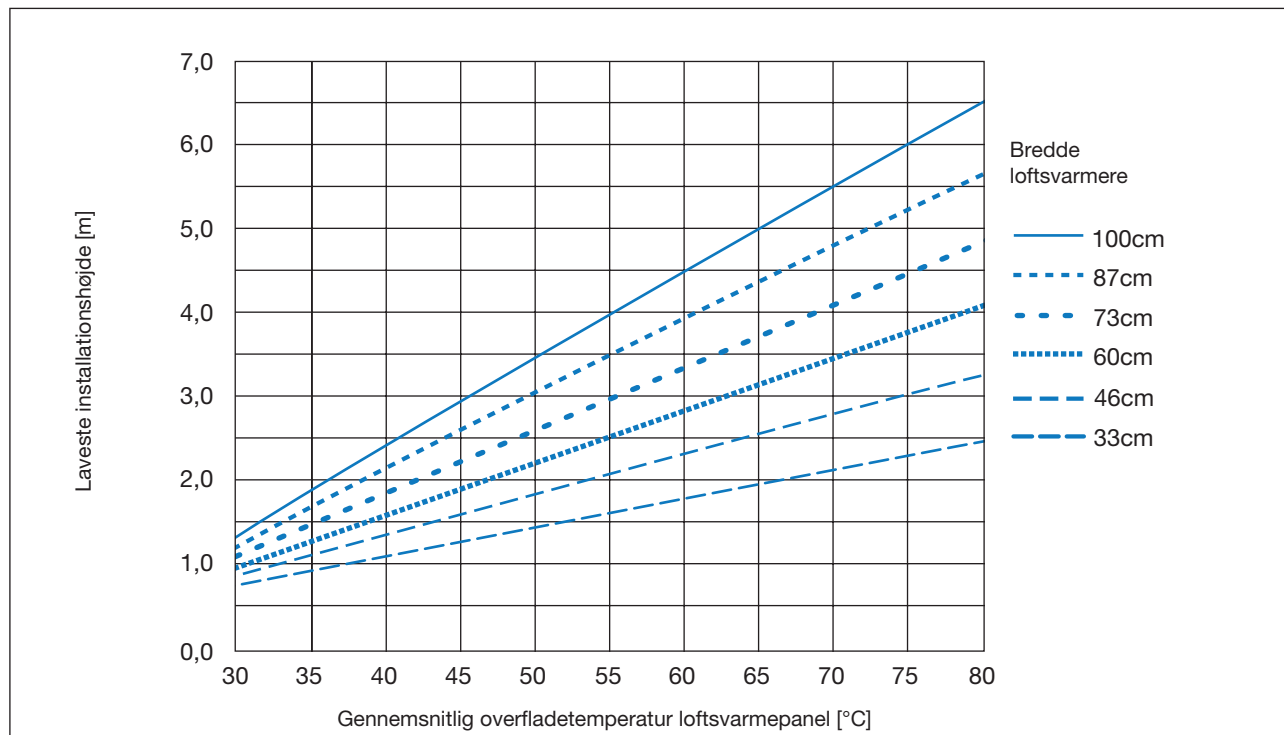
Dette er sjældent tilfældet i virkeligheden. STA vil i de fleste tilfælde være mere gunstige. Normalt findes der et eller flere kolde vinduer, og gulvet er oftest varmere end de omgivende vægge ved loftsvarme. Dette medfører, at STA mindskes, da vinduet/vinduerne oftest befinder sig over målefladen og dermed kompenserer for de varme loftspaneler. Det varme gulv bidrager også til at øge den plane strålingstemperatur under målefladen, hvilket mindsker STA. Samlet set vil STA være mindre end 5°C, hvis loftsvarmerne installeres på den højde, der er angivet i diagrammet.

Det er vigtigt at påpege, at vi taler om dimensionerende varmetemperaturer, som statistisk, indtræffer nogle få dage om året. Det meste af året er STA ved loftsvarme mindre end 5°C.

For at sammenfatte kan man konstatere, at jo mindre overflade (kortere og/eller smallere) panelerne har, des lavere kan de monteres uden at overskride den angivne strålingstemperatursymmetri.

I ref. [1] er hudtemperaturmålingerne og registrering af oplevet komfort udført hos 15 forsøgspersoner ved ophold i rum med loftsvarme. For at sammenfatte kan man konstatere, at man ikke kan måle nogen større forskel i hudtemperatur på hovedet sammenlignet med resten af kroppen, end hvad der er normalt. Når det gælder komfortoplevelsen, findes små forskelle i komfortangivelsen mellem hoved og fødder. Forskellen var dog ikke større end med andre varmesystemer.

Ved egne målinger af strålingstemperatursymmetri ligger værdierne mellem 1,0-5,5°C i forskellige lokaler, f.eks. skole, børnehaver, bilværksted, kontor og industrilokaler. De fleste værdier ligger omkring 2-3°C. Den højeste værdi (5,5°C) blev målt i et værksted med en port, der blev åbnet regelmæssigt og dermed sænkede golvtemperaturen.



Laveste installationshøjde for loftsvarmere ved strålingstemperatursymmetri på 5°C. Loftsvarmerens længde >10 m.

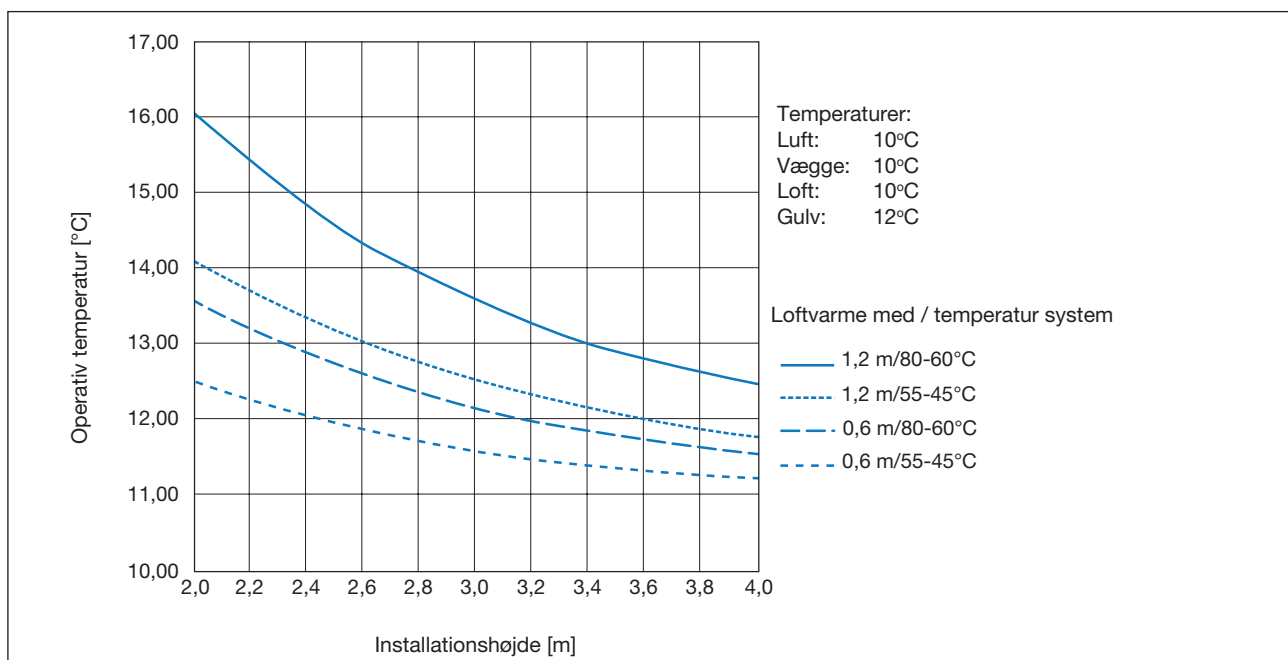
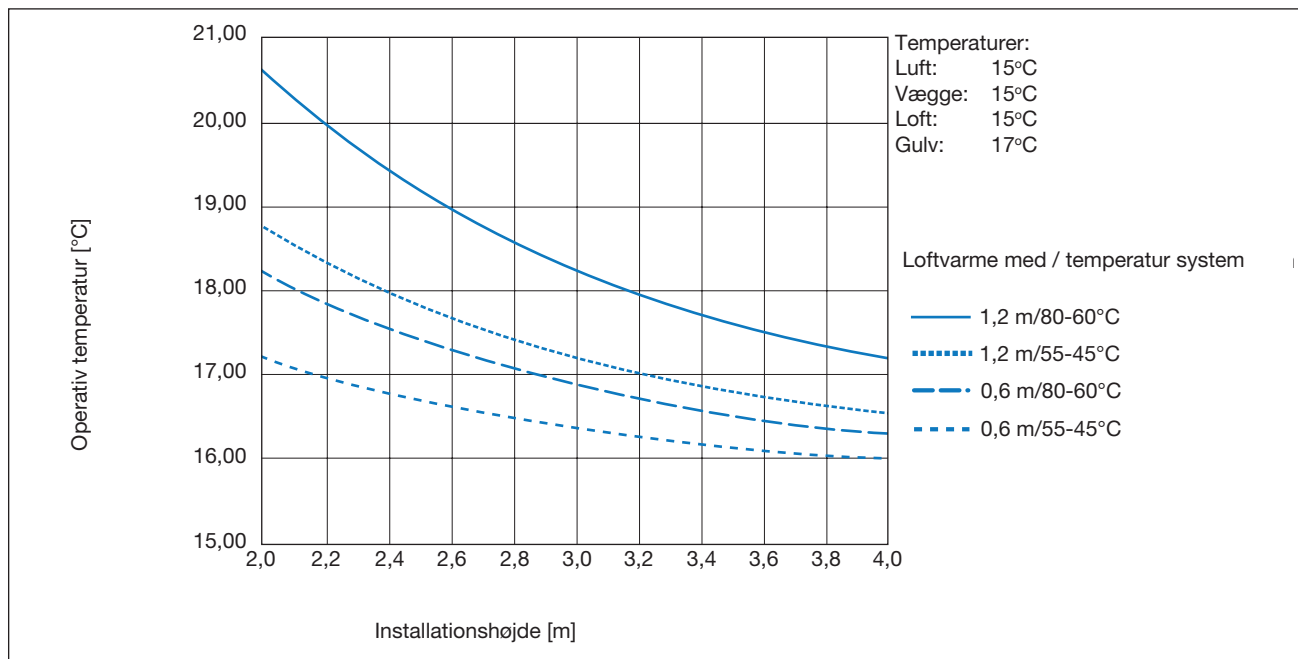
Loftsvarmevejledning

Zoneopvarmning

Loftsvarme har en speciel fordel ved opvarmning af en del eller en zone i et lokale. Dette gør, at man kan holde en lav lufttemperatur i lokalet og lokalt øge den operative temperatur på det sted, hvor mennesker arbejder/opholder sig. Den højere temperatur på loftvarmeren og opvarmning af gulvet medfører, at den operative temperatur kan øges et godt stykke over lufttemperaturen.

I diagrammet herunder vises den operative temperatur som funktion af installationshøjden. De viser tilfælde med lufttemperatur på hhv. 10 og 15°C. Vægge og loft antages at have samme temperatur som luften, mens gulvet varmes op til en temperatur på ca. 2°C over lufttemperaturen. De forskellige kurver repræsenterer hhv. 0,6 m og 1,2 m brede loftvarmere ved to forskellige systemtemperaturer, hhv. 55/45 og 80/60°C.

Operativ temperatur ved zoneopvarmning



Loftsvarmevejledning

Kapitel VII

Effekt og energi

Ved beregning af dimensionerende varmeeffektbehov beregnes som tidligere nævnt først bygningens forskellige bygningsdele vedrørende areal og varmegennemgangstal, U_p -værdi, og derefter $U_{\text{gennemsnit}}$. Dette beregnes på normal vis iht. gældende byggelov BBR 94, Varmeisolering (Boverket) og Svensk Standard (SS 02 42 02 og SS 02 42 30).

Når man efterfølgende skal bestemme den dimensionerende udetemperatur (DUT), skal man anvende metoden, der er beskrevet i Svensk Standard (SS 02 43 10), for at undgå, at varmesystemet overdimensioneres. Metoden bygger på, at man tager hensyn til rummets/bygningens individuelle tidskonstant, dvs. varmelagringssevne, og på denne måde beregner en DUT for hver bygning eller rum. Når man beregner varmeeffektbehovet i en ny bygning, kan man normalt antage en til to grader lavere indetemperatur for loftsvarme end normalt. Denne sænkning er dog kun en erfaringsværdi og ved projektering bør der foretages kontroller på de følsomme dele af bygningen mht. operativ temperatur eller andre foreskrevne klimafaktorer, som er temperaturafhængige. At en tempera-

tursænkning normalt set er mulig, skyldes, som tidligere nævnt, at varmestrålingen fra loftet opvarmer de omgivende flader, som f.eks. gulv, vægge og inventar. Mennesker oplever da, at varmeudstrålingen fra kroppen mindskes, og for at beholde den rette komfort kan rumluftens temperatur sænkes ca. lige så meget, som de omgivende fladers middeltemperatur er blevet forhøjet. Dette gælder under forudsætning af, at de øvrige klimafaktorer holdes på et konstant niveau og at lufthastigheden ikke overskrider 0,15 m/s.

Så snart man indsætter en varmekilde i et rum og holder en temperatur over udetemperaturen, vil der opstå en temperaturgradient i rummet pga. densitetsforskellen mellem varm og kold luft. Gradienten er ikke lige stor over det hele. Det er specielt i nærheden af gulv og loft, men også ydervægge, at gradienten kan være ulineær. I de øvrige dele af et rum er temperaturgradienten oftest tæt på lineær. Temperaturgradientens størrelse varierer med niveauet i rummet, rumfladernes temperatur, rummets ventilation, rummets størrelse, varmernes mængde og placering, ufrivillig ventilation, rummets møblering samt aktiviteten i rummet, ref. [12]. Som det fremgår, er der mange indvirkende faktorer, hvoraf en hel del af dem oftest har lille eller meget lille indvirkning på temperaturgradienten.

$$P_{\text{dim}} = P_t + P_{\text{ov}} + P_v$$

Hvor: P_t = Effektbehov pga. transmission

P_{ov} = Effektbehov pga. ufrivillig ventilation

P_v = Effektbehov pga. ventilation

Tilført effekt som genereres internt i lokalet eller rummet tages normalt ikke med i beregningen, hvis det ikke kan betragtes som en konstant virkende varmekilde.

Effektbehov pga. transmission beregnes i henhold til:

$$P_t = \sum_i U_i \times A_i \times \Delta t_i$$

A_i = Arealet for hver bygningsdel (m^2)

U_i = U_p værdien for hver bygningsdel ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Δt_i = Temperaturforskellen for hver bygningsdel, dvs. der tages hensyn til temperaturgradienten ved beregning af hver bygningsdel. Man behøver ikke tage hensyn til temperaturgradienten ved lave loftshøjder (ca. 2,5- 3,5 m).

Effektbehov pga. ufrivillig ventilation, P_{ov} , antages normalt til følgende værdi:

– Ældre boliger: 0,4-0,6 oms/h

– Nyere boliger: 0,2-0,4 oms/h

– Ældre kommercielle eller offentlige lokaler:

0,3-0,5 oms/h

– Nyere kommercielle eller offentlige lokaler:

0,1-0,3 oms/h

Effektbehov pga. ventilation beregnes i henhold til:

$$P_v = q \times \rho \times c_p \times \Delta t_v$$

Hvor q = luftmængde udeluft (m^3/s)

ρ = luftens densitet (kg/m^3)

c_p = luftens varmekapacitet

Δt_v = temperaturforskellen mellem udeluftens temperatur og indblæsningstemperaturen.

Beregningen af dimensionerende effektbehov for opvarmning foretages iht. ovenstående formel.

Loftsvarmevejledning

Et loftsvarmesystem har en gunstig indvirkning på temperaturgradienten. De omgivende rumflader opvarmes af varmestrålinger og afgiver derefter varme dels gennem stråling (sekundær) til andre flader og dels konvektivt til luften. Dette medfører, at luften vil blive opvarmet mere jævnt i stort set alle rummets flader. Resultatet bliver en relativt lille temperaturgradient.

Som det fremgår af ovenstående, er der flere faktorer end varmesystemet, som påvirker temperaturgradientens størrelse. Derfor varierer gradientens størrelse fra lokale til lokale, afhængigt af lokalets forudsætninger. I de målinger vi selv udførte, ligger temperaturgradienten i lokaler med loftsvarme mellem 2,8 m og ca. 7 m loftshøjde på 0,3-1,0°C/m med tyngdepunkt på 0,4-0,5°C/m.

I ref. [12] angives værdien for andre varmesystemer, der er hentet fra international litteratur:

- radiatorsystem: 1-2°C/m
- konvektiv opvarmning: 2-3°C/m

Ved højere loftshøjder spiller temperaturgradienten, som tidligere nævnt, en stor rolle ved beregning af dimensionerende varmeeffektbehov. I rum med normal loftshøjde (ca. 2,5 m) spiller temperaturgradienten naturligvis en forholdsvis lille rolle for effektbehovet. Herunder vises et eksempel på, hvor stor indvirkning temperaturgradienten har i forskellige tilfælde ved relativt højre loftshøjder. Værdierne herunder er teoretisk beregnede og bygger på følgende eksempel:

En hal i Göteborg-området, $DUT_{10} = -10^{\circ}\text{C}$, med et gulvareal på hhv. 500, 100 og 2000 m² og med et vinduesareal på 10% af gulvarealet.

Up-værdien for væggen er 0,2, for loftet 0,2 og for gulvet 0,3 W/m², °C.

Vinduets Up-værdi er sat til 2,9 W/m², °C.

Ufrivillig ventilation er antaget til 0,3 oms/h. Varmeeffektbehovet vedrører kun transmission og ufrivillig ventilation. Effektbehovet for hver række er indekseret iht. rumtemp./gradient: 20°C/ 0,0°C/m for den respektive række. Tallene kan bare sammenlignes indbyrdes på samme række.

Relativt varmeeffektbehov

Energibehovet for opvarmning kommer fra tre faktorer - transmission, ventilation og ufrivillig ventilation. Transmissionen står normalt for ca. 20-50% og ventilation inklusive ufrivillig ventilation for mellem 50-80%. I en ejendom, der opvarmes til normal indetemperatur (ca. 20°C) angiver man ofte som tommelfingerregel, at man sparer ca. 5% af energiforbruget for hver grad, indetemperaturen sænkes.

Indetemperaturen kan normalt sænkes en til to grader med loftsvarmesystem, uden at den operative temperatur sænkes under det tilladte, ref. [4]. Til dette kommer effekten af, at temperaturgradienten bliver lavere ved loftsvarme end ved konventionelle opvarmningssystemer.

Disse to faktorer gør, at tabene mindskes ved transmission (især gennem loftet), men specielt for ventilation og ufrivillig ventilation. I ref. [3] angives, at forskellen i målt energiforbrug mellem et loftsvarmesystem og et radiator-system er 2-7% til loftsvarmens fordel. I en litteraturundersøgelse, ref. [4], angives de målte energibesparelser i forskellige lokaler til 6-30% med loftsvarme.

En teoretisk sammenligning af energiforbrug mellem forskellige systemer, der er illustreret som forskellige temperaturer og forskellige temperaturgradienter, vises på side 4:33. Der er anvendt samme lokale og forudsætninger som ved sammenligning med dimensionerende effektbehov herover. Energiforbruget er beregnet med graddøgsmetoden. Den angivne temperaturgradient antages at opstå ved dimensionerende udetemperatur (-10°C) og derefter sænket lineært til nul, når udetemperatur og rumtemperatur er ens.

Energibehovet for hver række er indekseret iht. rumtemp./gradient: 20°C/ 0,0°C/m for den respektive række. Tallene kan bare sammenlignes indbyrdes på samme række. (se tabel 1).

Relativt varmeenergibehov

I tabellen kan man se, at forskellen mellem forskellige varmesystemer, eller temperaturforholdet, giver en forskel i energiforbrug, der ca. svarer til de målte besparelser, som loftsvarme giver i referencerne herover. At størrelsen på energibesparelsen varierer, er åbenlys og skyldes givetvis forudsætningerne. Men det er helt klart, at et loftsvarmesystem medfører et energitab, der er meget lavere end de fleste andre varmesystemer. (se tabel 2).

Loftsvarmevejledning

Tabel 1 – Relativt varmeeffektbehov

		Rumtemp./gradient (hhv. °C og °C/m)				
Areal (m²)	Loftshøjde (m)	20/0,0	20/0,5	20/2,0	18/0,5	18/0,2
500	5	1,00	1,04	1,17	0,96	1,09
	10	1,00	1,08	1,33	1,01	1,26
1000	5	1,00	1,04	1,18	0,97	1,10
	10	1,00	1,09	1,35	1,02	1,28
2000	5	1,00	1,05	1,18	0,97	1,11
	10	1,00	1,09	1,35	1,02	1,29

Tabel 2 – Relativt varmeenergibehov

		Rumtemp./gradient (hhv. °C og °C/m)				
Areal (m²)	Loftshøjde (m)	20/0,0	20/0,5	20/2,0	18/0,5	18/0,2
500	5	1,00	1,04	1,17	0,89	1,01
	10	1,00	1,09	1,34	0,94	1,18
1000	5	1,00	1,04	1,17	0,89	1,01
	10	1,00	1,09	1,34	1,94	1,18
2000	5	1,00	1,04	1,17	0,89	1,01
	10	1,00	1,09	1,34	0,94	1,18

Loftsvarmevejledning

Kapitel VIII

Miljø og genanvendelse

Livscyklusanalyser (LCA), der er foretaget for aluminium-produkter, viser mange fælles træk. Materialets fremstillingsdel (drift, berigning og produktion) får forholdsvis høje belastningstal for både energi og miljø. I produktanvendelsesdelen får man sammenlignet med andre materialer et omvendt forhold. Den belastning aluminiumprodukter giver ved fremstillingen, opvejes mange gange helt af den lavere miljøpåvirkning i anvendelsen.

Hvis aluminium desuden genanvendes i endnu højere udstrækning, vil miljøbelastningen fra fremstillingen mindskes i tilsvarende grad.

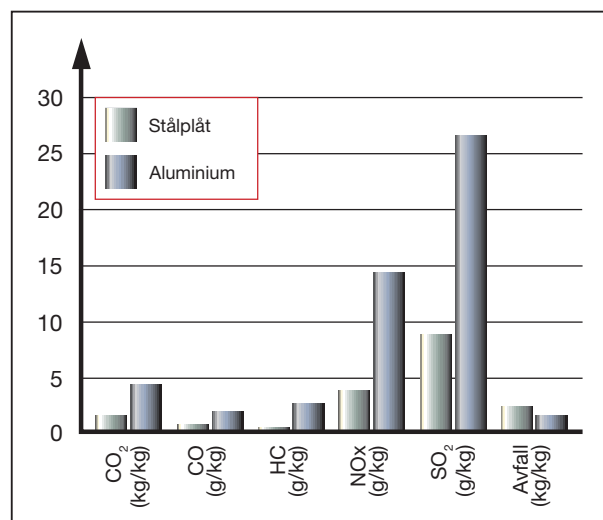
Lindab Comforts loftsvarmesystemer består udelukkende af kobber, aluminium og en isoleringsskive af opskummet polystyren samt en lille mængde tin. Al materiale eksklusive isoleringsskiven er 100% genanvendeligt. Allerede i dag går alt skrot fra produktionen til genanvendelse.

Ved nedrivning af en bygning, hvor Lindab Comforts lofts- og varmeprodukter er installeret, kan det metalliske materiale deri genanvendes 100%. Aluminium og kobber er godt nok metallisk forbundet i fremstillingsprocessen og kan ikke adskilles, men genanvendelse er stadig mulig. Loftsvarmerne presses sammen i en pakke på ca. 20 x 20 cm, og anvendes i metalindustrien som legeringsstoffer i forskellige aluminiumskvaliteter. I hver pakke er andelen af kobber veldefineret, da hver centimeter af et panel indeholder lige mange procent kobber.

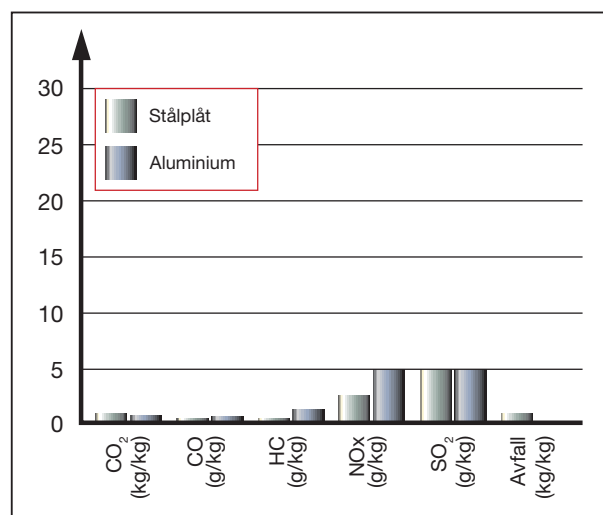
I ref. [20] vises livscyklusanalyser (LCA) for forskellige materialer, som f.eks. aluminium og stålplader. Herunder vises en sammenligning mellem disse materialer, dels uden genanvendelse og dels med 70-75% genanvendelse. De viste værdier kan ikke oversættes til Lindab Comforts loftsvarmeprodukter, da en LCA kun gælder et specifikt produkt og dets specielle forudsætninger i løbet af dets levetid. De absolutte værdier kan altså ikke anvendes på Lindab Comforts produkter.

Det vi vil vise med diagrammerne på denne og næste side, er, at belastningen på miljøet mindskes dramatisk med en god genanvendelsesgrad, samt at aluminium er miljømæssigt lige så godt som en stålplade ved 70-75% genanvendelsesgrad. I dag er genanvendelsesgraden lav ved nedrivning af et hus, men i fremtiden vil udviklingen på dette område sandsynligvis gå hurtigt og da er genanvendelsesgrader på 70-75% ikke usædvanlige. Af denne grund kan man med stor sikkerhed antage, at Lindab Comforts produkter, der installeres i dag, vil blive genanvendt, den dag huset, de er installeret i, rives ned alle bygges om.

Udslip af forskellige stoffer



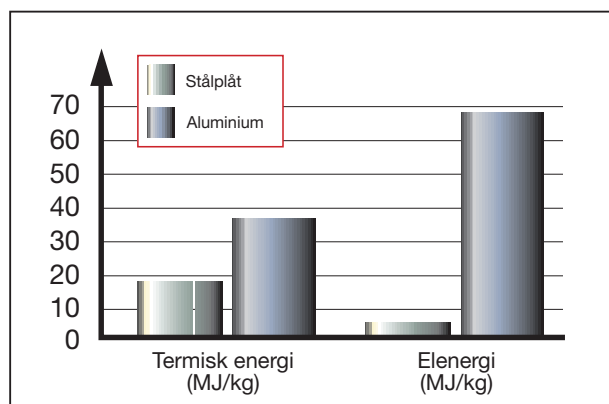
LCA-værdier emballage uden genanvendelse.



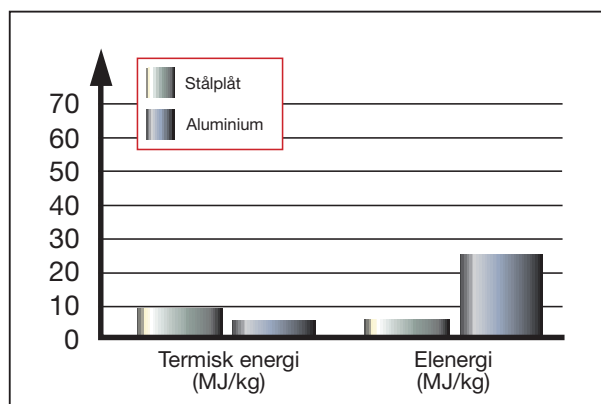
LCA-værdier emballage med 70-75% genanvendelse.

Loftsvarmevejledning

Anvendelse af forskellige energiformer



LCA-værdier emballage uden genanvendelse.



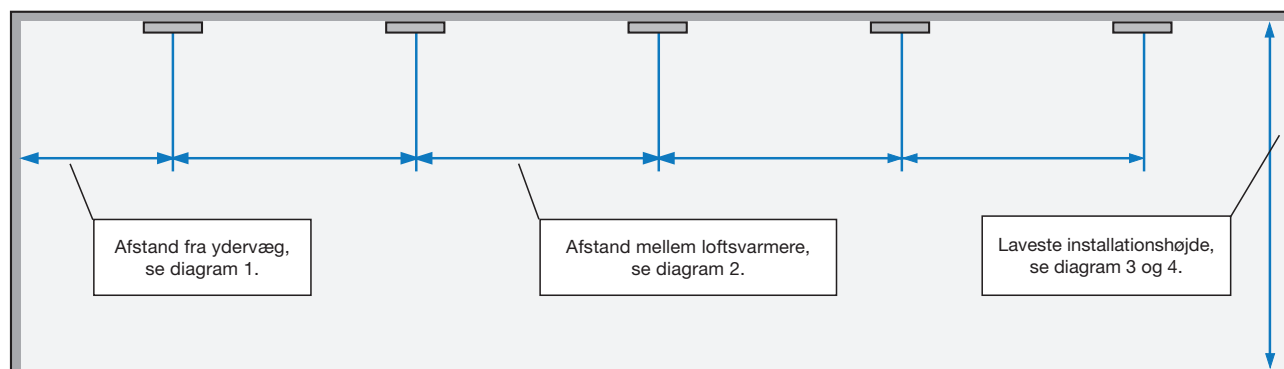
LCA-værdier emballage med 70-75% genanvendelse.

Referencer

- [1] Adamsson/Löfstedt; Takvärme, Temperaturfordeling og behaglighed; Statens institut for bygnadsforskning, Rapport R12:1971, 1971.
- [2] Lind/Olsson; Klimatmålinger i skoler med elektrisk takvärme og flæktstyret fråluftventilation; Statens institut for bygnadsforskning, Rapport R40:1972, 1972.
- [3] Johansson/Petersson; Takvärme – energiförbrukning og inomhusklimat; Statens institut for bygnadsforskning, Rapport R12:1984, 1984.
- [4] Brännvall; Takvärme – kritisk granskning av olika uppvärmningssystem, litteraturstudie; KTH Inst. for Värme og Ugnsteknik, Stockholm 1977.
- [5] Jacobsson/Lindgren; Kallras vid fönster – en förstudie; Wahlings installationsutveckling AB, Stockholm 1982.
- [6] Peterson; Kallras vid konvertering; KTH Inst. for uppvärmnings- og ventilationsteknik, A4-serien nr 140, Stockholm 1991.
- [7] Al-Bazi; Klimat og byggnader nr 1/1989; KTH Inst. for uppvärmnings- og ventilationsteknik, Stockholm 1989.
- [8] SCANVAC, Klassindelade inneklimatsystem, riktlinjer og specifikationer; Svenska Inneklimatinstitutet, Riktlinjeserien R1.
- [9] Allard/Inard/Simoneau; Experimental study og numerical simulation of natural convection in a room with heated ceiling og floor; ROOMVENT '90 Engineering Area- og Thermodynamics of Ventilated Room, second international konferens, Oslo 1990.
- [10] Krause; Die konvektive Wärmeabgabe von Heizdecken; Gesundheitsingenieur nr 10 og 11, 1959.
- [11] Müllejan; Über die Ähnlichkeit der nichtisothermen strömung og den Wärmeübergang in Räumen mit Strahlüftung; Forschungsberichte des landes Nord-rhein-Westfalen, nr 1656, 1966.
- [12] Peterson, F; Temperaturgradienter vid olika uppvärmningssystem; Tekniska Meddelanden nr 65, Inst. for Uppvärmnings- og Ventilationsteknik, KTH 1975.
- [13] Pierre, B; Mekanisk Värmeteori del 2; Kompendium, Institutionen for mekanisk värmeteori og kylteknik, KTH 1979.
- [14] Duffie, J, Beckman, W; Solar Engineering of Thermal Processes; Wiley & Sons 1980.
- [15] McIntyre, D. A.; The Thermal Radiation Field; Building Science Vol 9, 1974.
- [16] McIntyre, D. A, Griffiths I. D.; The effect of uniform og asymmetric thermal radiation on comfort; Proc. of the 6th international congress of climatistics "clima 2000", Milan, March 1975.
- [17] Chrenko, F. A.; Heated ceilings og comfort; Journal of the Inst. of Heating og Ventilation Engineers, Januari 1953.
- [18] Olesen B. W. m.fl.; Thermal comfort in a room heated by different methods; ASHRAE transactions, vol 86 part one, 1980.
- [19] Fransson, J m.fl.; Utvärdering av Bo-klimat og fuktstyrning i Falun; Statens råd for bygnadsforskning, SPAR 1993: 67.
- [20] Tillman A-M. m.fl.; Packaging og the environment- Life-cycle analyses of selected packaging materials – Quantification of environmental loadings; Chalmers industriteknik, Göteborg 1992.
- [21] Fanger P.O.; Thermal Comfort, Analysis og Applications in Environmental Engineering; Danish Technical Press, Copenhagen 1970.

Loftsvarmevejledning

Dimensioneringsnøgle



Placering af paneler

Følgende tommelfingerregel bør man forsøge at følge for at opnå en så jævn fordeling af varmestrålingen som muligt.

Mod ydervæg uden vindue skal panelet tættest på vægges lægges iht. diagram 1.

Mod en ydervæg med vindue: Hvis ydervæggen indeholder normale eller store glasflader, kan panelerne lægges tættere på væggen. Der bør ske en fortætning af varmeeffekten for at mindske risikoen for eventuel kuldne-fald og for at opnå den nødvendige driftstemperatur. Ved mindre vinduer behøves ingen fortætning. Tommelfingerregler er svære at give i disse tilfælde, da variationerne i vinduesstørrelser og bygningsudformninger er store.

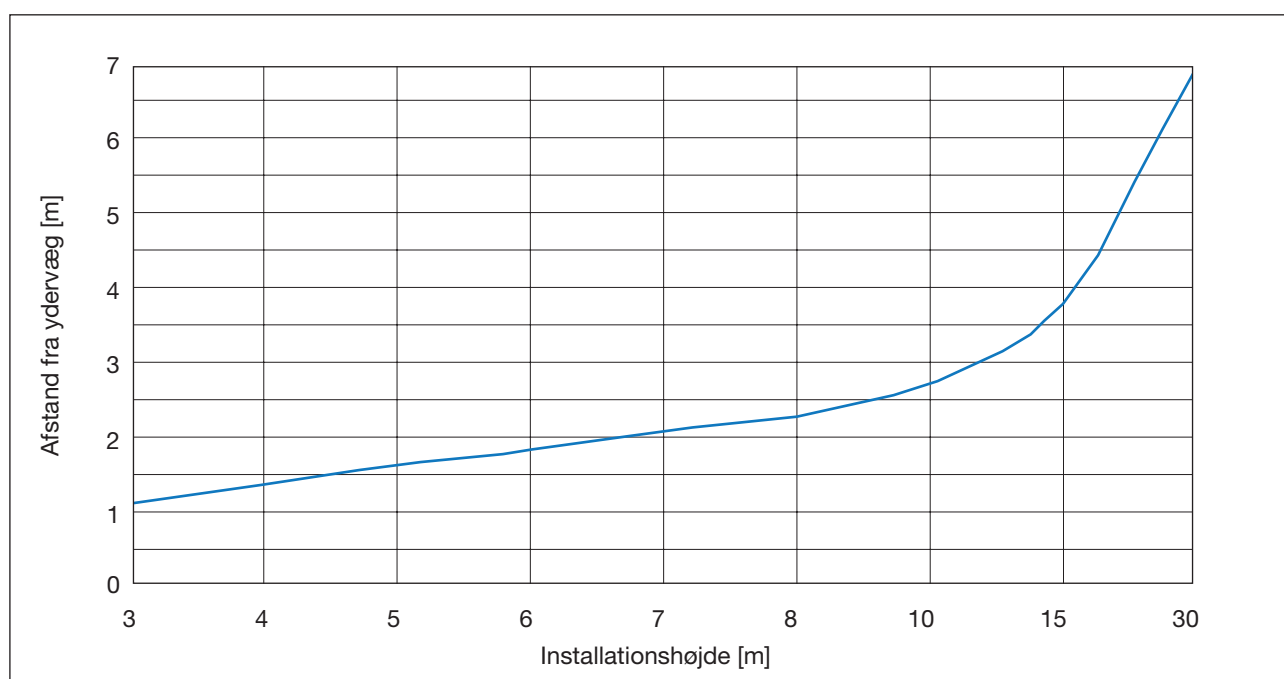


Diagram 1. Anbefalet afstand mellem loftsvarmere tættest på ydervæggen og ydervæg (uden vindue).

Loftsvarmevejledning

Placering af paneler

Deling mellem paneler/strips fremgår af billede 2. I diagrammet vises de anbefalede delinger mellem paneler/strips som funktion af installationshøjden. Med anbefalet deling opnås en varmestråling, som er lige så stor lige mellem varmerne som lige under dem.

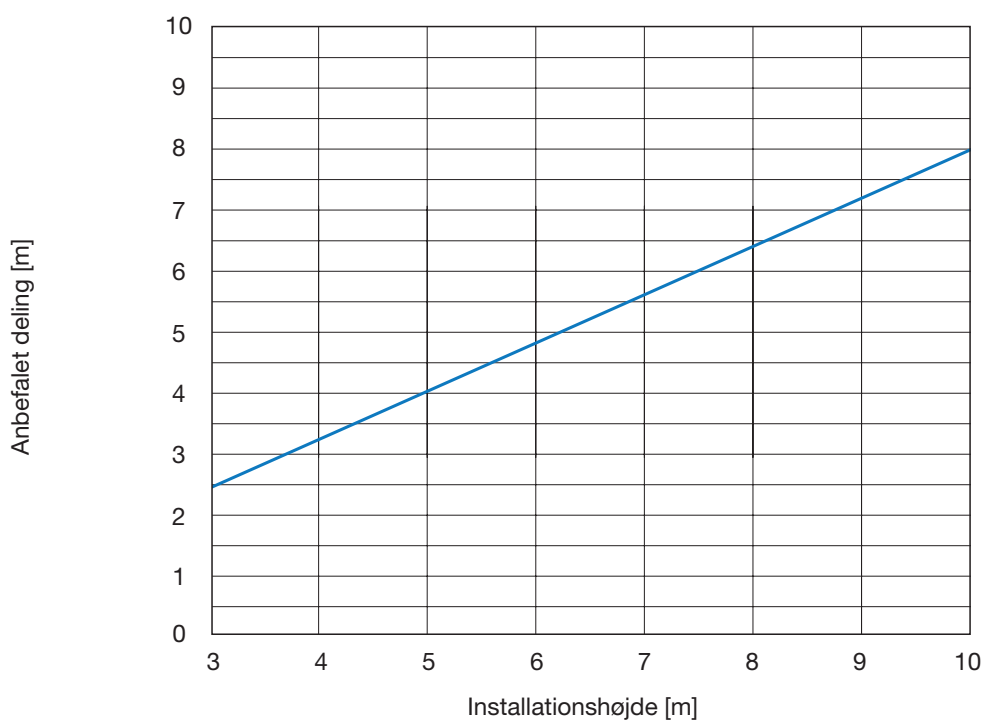


Diagram 2. Anbefalet afstand mellem paneler ved loftsvarme.

Loftsvarmevejledning

Dimensioneringsnøgle

Installationshøjde og temperatur

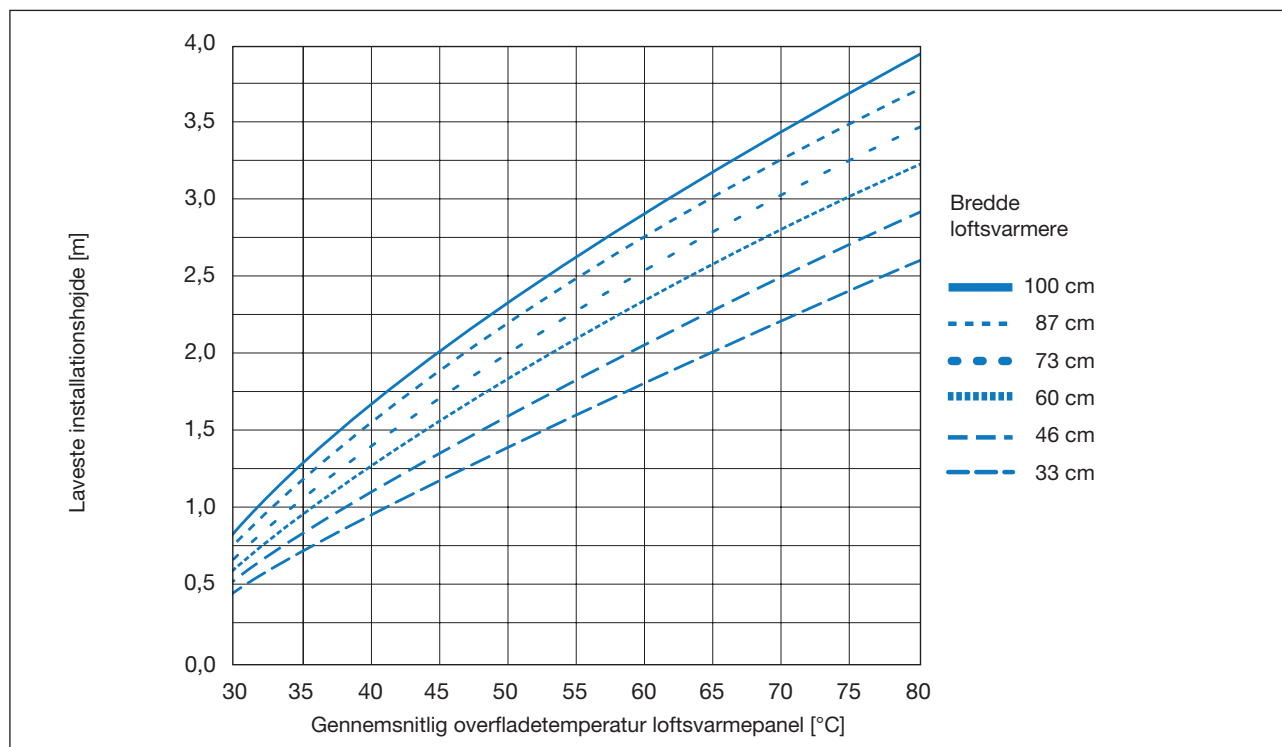


Diagram 3. Laveste installationshøjde for loftsvarmere ved strålingstemperatursymmetri på 5°C. Loftsvarmerens længde 3,6 m.

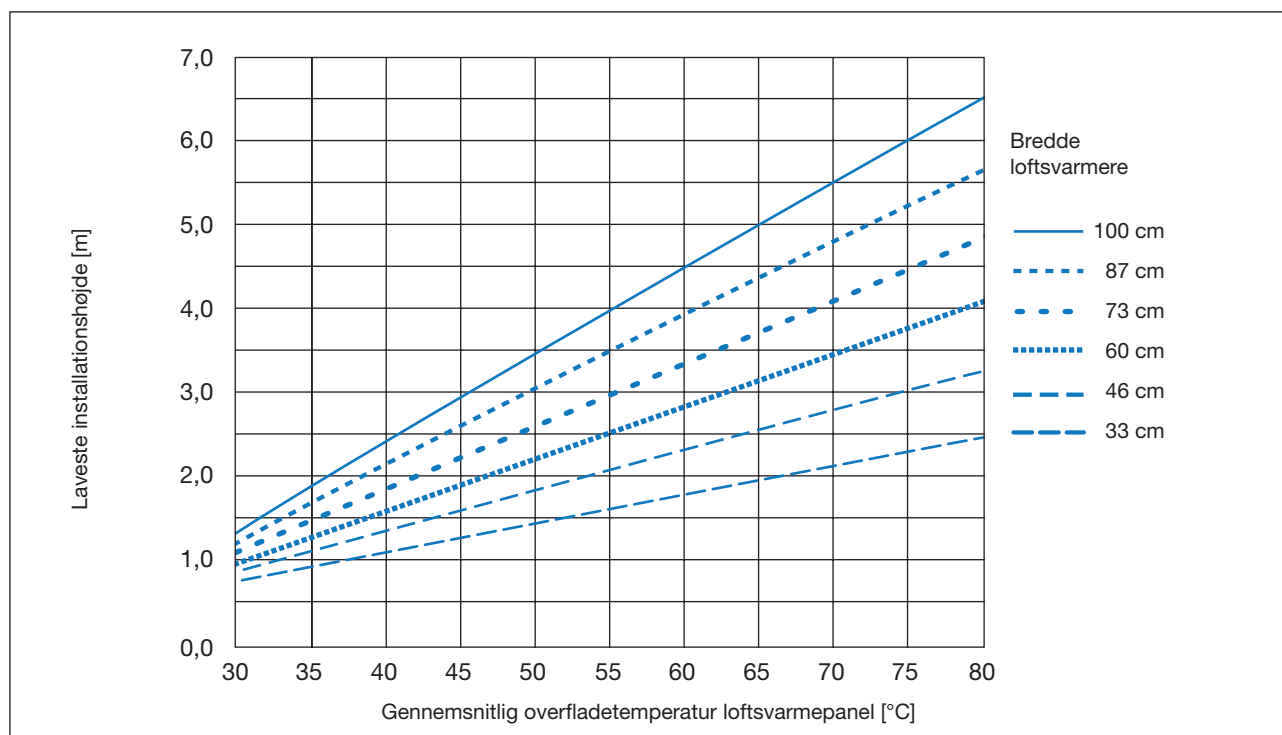
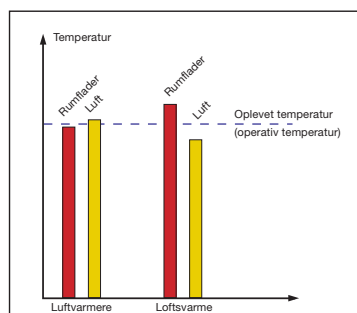


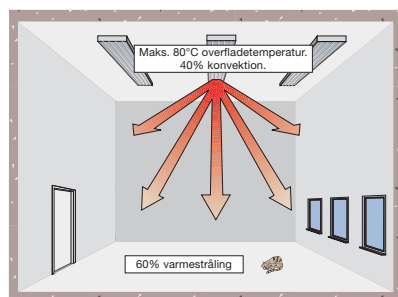
Diagram 4. Laveste installationshøjde for loftsvarmere ved strålingstemperatursymmetri på 5°C. Loftsvarmerens længde >10 m.

Loftsvarmevejledning

Hurtige fakta



Loftsvarme varmer rummets flader gennem varmestråling. Fladerne varmer derefter luften. Dette giver forudsætninger for et meget godt indeklima.



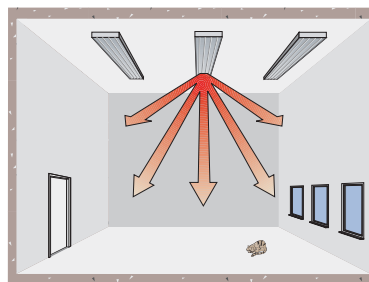
Loftshøjden har ingen indvirkning på varmets evne til at nå ud i hele lokalet. Loftsvarmerens temperatur skal derfor ikke øges ved større loftshøjde.



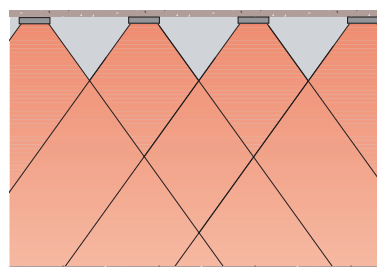
Loftsvarme fungerer også udmærket til zoneopvarmning i et større lokale. Opvarmningen af de nærliggende flader og selve loftsvarmeren gør, at den operative temperatur kan øges mindst 2-6°C over lufttemperaturen.

Der bliver ikke koldt under bordet, da varmestrålingen kommer indirekte fra alle flader i rummet. Alle flader i rummet bidrager til opvarmningen. Enten ved at de absorberer varmestrålingen, opvarmes og derefter udstråler varmen, eller ved at de reflekterer den.

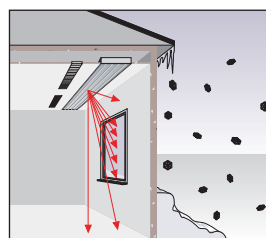
Der bliver ikke varmt på hovedet. Lindabs loftsvarmere er vandbårne med en normal maks. temperatur på ca. 40-60°C, og de monteres normalt med en installationshøjde på over 2,5 m. Dette betyder, at varmestrålingen fra loftsvarmerne stort set ikke kan mærkes.



Loftsvarme er indirekte gulvvarme! Strålingsvarmen gør, at gulvet normalt bliver ca. 2-3°C varmere end luften lige over gulvet.



Varmestrålingen spredes til alle dele af rummet, som loftsvarmeren kan "se". Det meste af strålingen går nedad, mens strålingen er aftagende til siderne. Varmestrålingen styres også afhængigt af den modtagende rumflades temperatur.



Effekten fra varmestråling øges mod koldere flader. Dette betyder, at varmen kommer derhen, hvor der er mest behov for den. F.eks. opvarmes et vindues inderside for at fjerne risikoen for kuldenedfald.

Loftsvarme er blandt de mest energibesparende varmesystemer, der findes. Loftsvarme giver derved 1-2°C lavere rumtemperatur og giver en meget lille temperaturgradient i lokalet, dvs. ingen varmepude ved loftet.

Loftsvarmesystemet kan let ændres med ændret aktivitet. Man behøver ikke tage hensyn til varmesystemet, når man foretager indgreb i vægge og gulv.



De fleste af os tilbringer størstedelen af vores tid indendørs. Indeklima er afgørende for, hvordan vi har det, hvor produktive vi er, og om vi holder os sunde.

Hos Lindab har vi derfor gjort det til vores vigtigste mål at bidrage til et indeklima, der forbedrer menneskers liv. Det gør vi ved at udvikle energieffektive ventilations- løsninger og holdbare byggeprodukter. Vi stræber også efter at bidrage til et bedre klima for vores planet ved at arbejde på en måde, der er bæredygtig for både mennesker og miljøet.

[Lindab](#) | For et bedre klima