



lindab | För ett bättre klimat



# Kylvärmeguide

Teori vatten värme



# Takvärmehandledningen

## Innehållsförteckning

### Inledning

| Frågor och Svar                                                      | Sida |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| 1. Vad påverkar den termiska klimatupplevelsen? .....                | 4    |
| 2. Hur fungerar takvärme?.....                                       | 5    |
| 3. När kan man använda takvärme? .....                               | 6    |
| 4. När kan man inte använda takvärme? .....                          | 7    |
| 5. På vilken höjd kan takvärme installeras? .....                    | 8    |
| 6. Påverkar takvärme ventilationen? .....                            | 8    |
| 7. Blir det varmt på huvudet?.....                                   | 8    |
| 8. Blir det kallt under bordet?.....                                 | 9    |
| 9. Blir det kallras vid fönstret?.....                               | 9    |
| 10. Vilken livslängd har Lindab Comforts takvärmare? .....           | 10   |
| 11. Kan takvärmeinstallationen förändras med ändrad verksamhet?..... | 10   |
| 12. Vilken effekt behöver installeras?.....                          | 11   |
| 13. Spar takvärme energi? .....                                      | 12   |
| 14. Vad kostar det? .....                                            | 12   |
| 15. Kan man återvinna Lindab Comforts produkter?.....                | 14   |

### Fördjupning

#### Kapitel

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| I. Hur människan upplever det termiska klimatet.....   | 15 |
| II. Så här fungerar takvärme.....                      | 17 |
| III. Var fungerar en takvärmare bra? .....             | 21 |
| IV. Konstruktionskrav på en takvärmare .....           | 22 |
| V. Placering av takvärmare.....                        | 27 |
| VI. Temperatur och erforderlig installationshöjd ..... | 29 |
| VII. Effekt och energi .....                           | 32 |
| VIII. Miljö och återvinning .....                      | 35 |

### Dimensioneringsnyckel

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| Placering av paneler .....             | 37 |
| Installationshöjd och temperatur ..... | 39 |

### Snabbfakta

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| Snabbfakta – takvärme i ett nötskal..... | 40 |
|------------------------------------------|----|

# Takvärmehandledningen

## Innehållsförteckning

Vi på Lindab Comfort får ofta frågor som inte bara handlar om våra produkter, utan som även rör takvärme som system och uppvärmningsprincip. Takvärme är tyvärr en ibland underskattad och missförstådd uppvärmningsform. Det är tvärtom en mycket bra uppvärmningsform. Alldeles för bra för att lämnas åt sitt öde.

För att ge våra kunder och andra intresserade mer information om takvärme så har vi därför sammanställt denna skrift. Vi hoppas att det skall finnas något matnyttigt både för projektledare och beställare, som vill få snabb information, och för den ambitiöse konstruktören som vill lära mer om ämnet.

I denna skrift, som har som underlag ett stort antal svenska och utländska referenser, beställares och konsulters erfarenheter och mätningar samt våra egna beräkningar och mätningar, visar vi att:

- Takvärme värmer rummets ytor via värmestrålning. Ytorna värmer i sin tur luften.
- Takvärme ger ett mycket bra termiskt inomhusklimat tack vare detta faktum.
- Med Takvärme blir det varken kallt under bordet, varmt på huvudet eller kallras från fönster, vilket många tror.
- Takvärme fungerar i stort sett i alla typer av lokaler, från stora lagerhallar till små barnstugor.
- Takvärmesystemet kan lätt förändras med ändrad verksamhet i lokalen, man behöver inte tänka på värmesystemet om man förändrar väggar eller golv
- Takvärme kan kombineras med vilket typ av ventilationssystem som helst.
- Takvärme är bland de energisnålaste värmesystem som finns.
- Takvärme har låg investeringskostnad jämfört med andra system. Tillsammans med låg energiförbrukning är det ett ekonomiskt system både på kort och på lång sikt.
- Lindab Comforts Takvärmare är till 100% återvinningsbara. Sammantaget med låg energiförbrukning är det bra för kommande generationer.

Vilka andra värmesystem har alla dessa fördelar?

## Takvärmehandledningen är uppbyggd i tre avdelningar:

- Den första, Frågor och Svar, ger korta och ibland för- enklade svar på väl definierade frågor för den som inte vill gräva på djupet i frågeställningen.
- Den andra, Fördjupning, ger som namnet antyder lite mer kött på benen. Här krävs det ibland förkunskaper motsvarande VVS-ingenjör.
- Den tredje, Dimensioneringsnyckel, ger Dig som projekterar takvärmesystem snabba och enkla hjälpmedel i Ditt arbete.



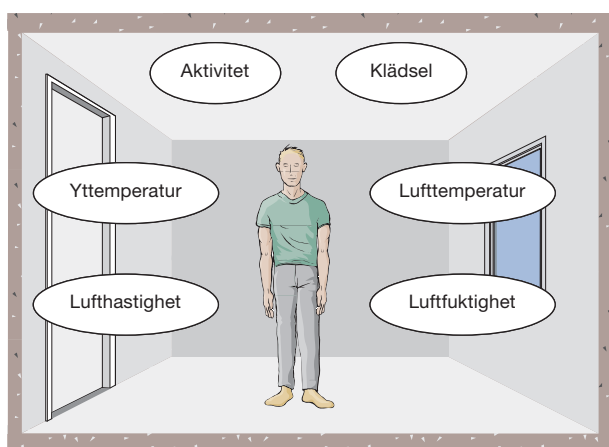
# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar

### Avsnitt 1

#### Vad påverkar den termiska klimatupplevelsen?

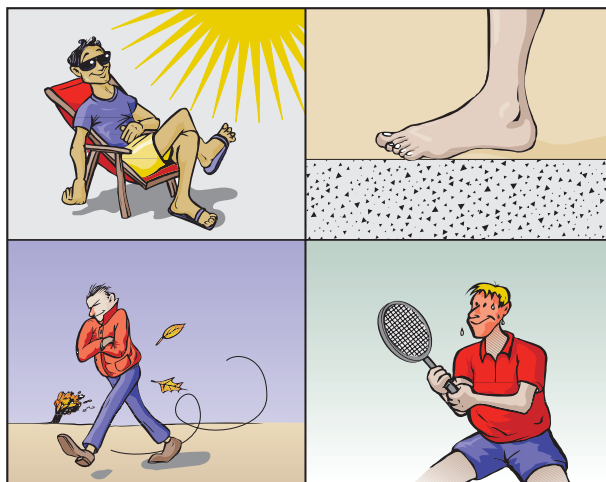
Hur vi upplever det termiska inomhusklimatet beror huvudsakligen på vårt totala värmeutbyte med omgivningen. Värmeutbytet påverkas av den fysiska aktivitet vi har, vår klädsel samt av det omgivande termiska klimatet i rummet. Det termiska klimatet kan beskrivas med hjälp av luftens temperatur, hastighet och fuktighet samt värmestrålningsutbytet med de omgivande ytor.



Faktorer som påverkar det termiska klimatet i rummet.

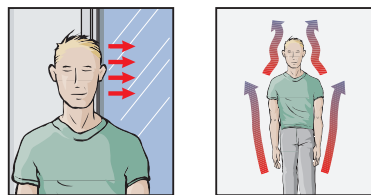
#### Värmeöverföring

Värme kan överföras på fyra olika sätt; strålning, ledning, konvektion och fasomvandling. Värmestrålning är det man känner från t.ex. solen eller en varm spisplatta. Värmeöverföring genom ledning upplever man barfota på ett kallt stengolv. Konvektion känns av när man går barhuvad en blåsig vinterdag. Slutligen så känner man av fasomvandling när fukt avdunstar från kroppen, d.v.s. övergår från vätskefas till gasfas, och huden kyls av.



Värme överförs på fyra olika sätt.

Värme överförs dock alltid så fort det finns en temperaturskillnad mellan två kroppar. En människokropp t.ex., strålar hela tiden ut värme till omgivningen. En hand eller ett ansikte (ca.+33°C) avger kontinuerligt värme genom strålning till omgivande väggar och inredning (ca. +22°C) utan att man direkt känner det. Värme avges även genom konvektion mot hudytan då luft värms upp nära kroppen och därmed stiger uppåt.



Värme avges alltid från kroppen.

#### Termisk komfort

Termisk komfort innebär att en person som helhet upplever att den befinner sig i termisk jämvikt d.v.s. att det varken är för varmt eller för kallt. Termisk komfort förutsätter dessutom att det inte förekommer oönskad värmning eller kylning av en enskild kroppsdel, som t.ex. drag i nacken eller ett alldeles för varmt golv.

Människans värmebalans och komfortkänsla inomhus påverkas främst av;

- Konvektion direkt till omgivande luft via hud och lungor.
- Strålningsutbyte med omgivande ytor.

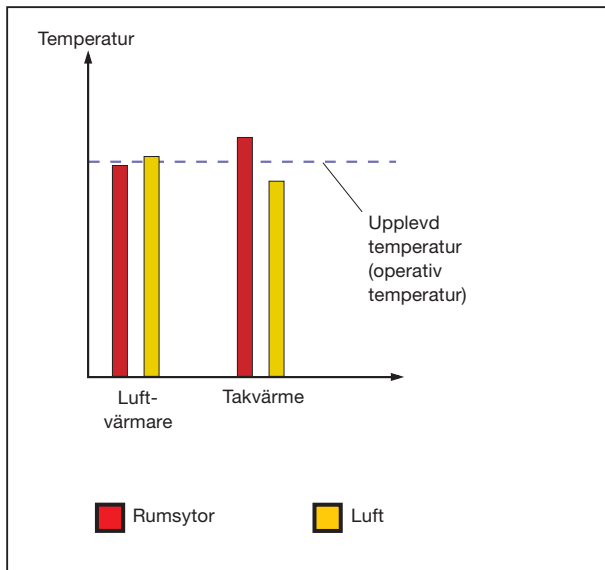
Dessa två sätt att överföra värme är ungefär lika stora vid normala luftrörelser i ett rum. Därför påverkas vi ungefär lika mycket av rumsytornas temperaturer som lufttemperaturen.

Höjs rumsytornas temperatur, i sin helhet eller delvis, kan lufttemperaturen sänkas lika mycket som motsvarande höjning av rumsytornas medeltemperatur. Om vi t.ex. värmer ett rum med takvärme får vi en höjd medeltemperatur hos rumsytorna. Människan avger då mindre mängd värme genom strålning till omgivningen. För att vi inte skall bli för varma av det kan kroppen kompensera genom en ökad konvektiv värmeavgivning till en kallare rumsluft.

Detta är bakgrunden till att det är möjligt att ha en lägre lufttemperatur vid strålningsuppvärmning, jämfört med konventionell uppvärmning, och samtidigt uppnå termisk komfort. (Fördjupning se kapitel I).

# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar



*Takvärme ger varma rumsytor och medger därför lägre lufttemperatur.*

## Avsnitt 2

### Hur fungerar takvärme?

Varm luft stiger, så varför sätta "elementet" i taket. Ja, det är en vanlig kommentar från människor som ser med tveksamhet på takvärme. I detta avsnittet vill vi försöka förklara hur takvärme fungerar och varför det blir varmt i hela rummet och inte bara vid taket.

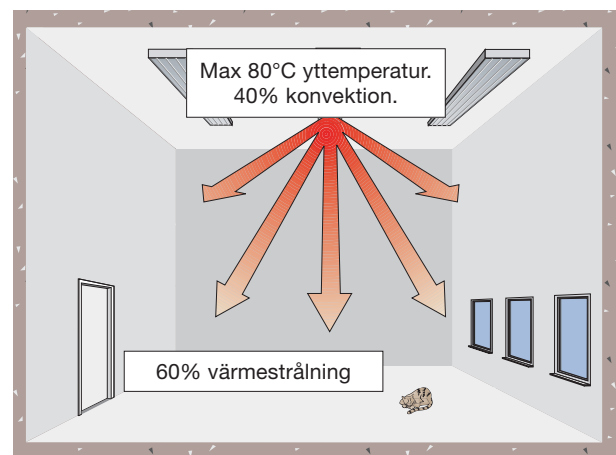
Värmesystem avger värme till omgivningen genom en blandning av konvektion och värmestrålning. Konvektionen värmer upp luften i närheten av en värmare medan värmestrålningen sprider sig åt alla håll i rummet. Den konvektivt värmda luften stiger i rummet medan värmestrålarna "färdas" rakt ut från värmaren tills de möter någon av de omgivande ytor.

Takvärmesystem bygger på en hög andel värmestrålning och låg andel konvektion. Typiska värden är ca. 60% strålning och ca. 40% konvektion. Lindab Comforts takvärmesystem är vattenburet och bygger på värmestrålning vid låga temperaturer (30-80°C). Det gör att man inte upplever värmestrålningen så intensivt som från t.ex. solen eller en elektrisk infravärmare.

Andelen konvektion för ett takvärmesystem (ca. 40%) motsvarar ungefär den andel av värmeförlusterna genom byggnadens klimatskal som takets värmeförluster utgör. Resten av energin från en takvärmare, d.v.s. strålningsandelen, kommer alltså de övriga delarna av byggnaden direkt till godo.

Man kan likna värmestrålning vid vanligt ljus. Det sprider sig och reflekteras ungefär på samma sätt.

Från takvärmaren strålar alltså värmen ut mot alla ytor som den kan "se". Även ytor som "skuggas" från värmestrålarna kommer att värmas upp då dels en del av värmestrålningen, precis som synligt ljus, reflekteras mot alla ytor och dels sker ett strålningsutbyte mellan rumsytor som har olika temperatur. Därför kommer temperaturskillnader i rummet och på olika ytor att hela tiden sträva efter att jämnas ut sig. Det medför att rummet får en mycket jämn temperaturfördelning mellan tak och golv.



*Fördelning av strålning och konvektion för Lindab Comforts takvärmare.*

De ytor dit strålningsvärme överförs kommer att värmas upp till en temperatur som är högre än de man skulle haft vid konventionell uppvärmning. Normalt kommer t.ex. innerväggar att få en yttemperatur som ligger över rummets lufttemperatur. En sällan uppmärksammas fördel med strålningsvärmen från taket är att den ger varma golv! Normalt blir golvtemperaturen ca. 2-3°C över lufttemperaturen vid ankelhöjd.

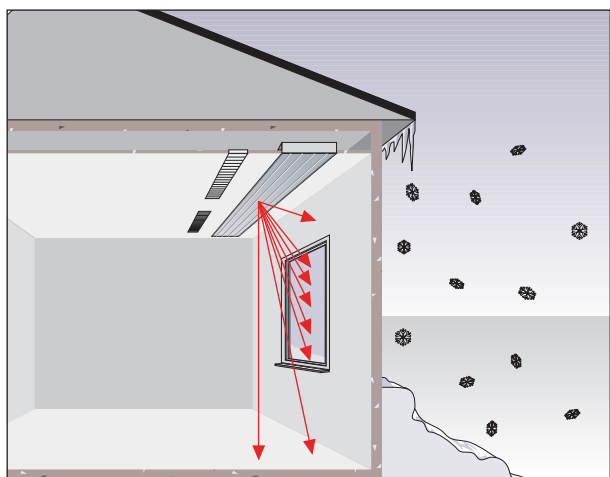
Det är alltså inte svårt att få nöjda hyresgäster med takvärme installerad!

Den värme som takvärmaren ger upphov till, och som en person upplever, kommer alltså till stor del från den indirekta värmen från omgivande ytor. Endast en liten del kommer direkt från takvärmepanelen. Upplevelsen av det termiska klimatet kommer av att människokroppen förlo- rar mindre mängd värme till omgivningen när omgivande ytor är varmare. Det räcker alltså inte med att bara luften omkring oss är varm! Se även avsnitt 1.

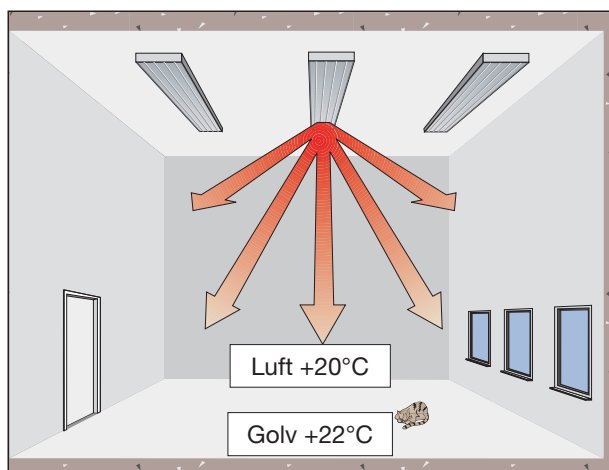
# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar

En stor fördel med strålningsvärme är, att ju kallare en omgivande yta är desto mer värmeenergi kommer den att "suga" åt sig. Det innebär att värmestrålningen automatiskt kommer att fördela sig så att kallare ytor, t.ex. fönster eller dåligt isolerade väggpartier, kommer att få en större andel av värmen, d.v.s. värmen hamnar där den bäst behövs. (Fördjupning se kapitel II).



Värmestrålningen går dit där den bäst behövs.



Takvärme ger varma golv!

## Avsnitt 3

### När kan man använda takvärme?

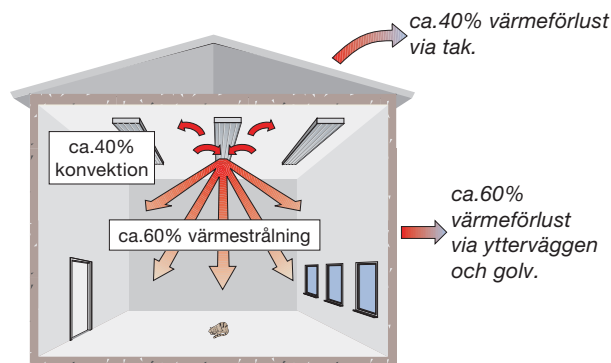
Takvärme har ett mycket brett användningsområde, bredare än de flesta andra uppvärmningsformer. Allmänt kan man säga att takvärme kan användas som uppvärmning för i stort sett alla typer av fastigheter. Mest använd är takvärmen i stora lokaler som t.ex. idrottshallar, verkstäder, industrihallar, lager och köpcentra. Men även i lokaler som barndaghem, vårdlokaler, bostäder, skolor och laboratorier fungerar takvärme utmärkt.

En takvärmes effektavgivning är ca. 40% konvektivt (värme till taket) och ca. 60% strålning (värme nedåt). För en byggnad är det normalt samma fördelning av värmeförlusterna genom väggar, tak och golv, d.v.s. ca. 40% av värme går ut genom taket och 60% genom resten av byggnaden. Därför är takvärme, tillsammans med alla andra fördelar, alldeles utmärkt för uppvärmning av i stort sett alla byggnader.

Bostäder är ett område där takvärme mycket sällan installeras. En starkt bidragande orsak är sannolikt att bostadsuppvärmning bygger på starka traditioner. Det har dock visats i undersökningar att takvärmepaneler, med kombinerat uteluftsintag för frånluftssystem, visat mycket goda resultat klimatmässigt jämfört med ett konventionellt radiatorsystem. Takvärmepanelerna monterades i försöket i taket direkt ovanför fönstret i ett sovrum. Uteluften togs in genom ett galler i ytterväggen och förvärmades mellan taket och takpanelen.

Sammanfattningsvis kunde man konstatera att:

- Tilluften värmdes i genomsnitt till 15,5°C vid en utetemperatur på -2°C.
- Operativtemperaturen låg i genomsnitt ca. 1,1°C högre än för ett motsvarande referensrum med panelradiatorer.
- Inget kallras kunde konstateras (fönstret värmdes av takvärmaren, se även avsnitt 9).



Fördelning av värmeavgivning från takvärme och från en byggnad.

# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar

Takvärme fungerar lika bra i lokaler där personer sitter med koncentrerat arbete som i lokaler där personer står upp eller rör sig. Takhöjden har praktiskt sett ingen betydelse vare sig uppåt eller nedåt för att få ett varmt klimat i vistelsezonen (se även avsnitt 5 och 7).

### Zonuppvärmning

Takvärme fungerar också utmärkt om endast en del av en lokal skall värmas, s.k. zonuppvärmning. Det kan t.ex. vara fasta arbetsplatser i lokaler där verksamheten kräver en låg temperatur. Då kan strålningsvärme bidra till att höja den upplevda temperaturen (s.k. operativ temperatur) genom att lokalt höja omgivande ytors temperaturer, och även i viss mån luftens temperatur, och på så sätt skapa en drägligare arbetsmiljö.

### Andra fördelar med takvärme:

En stor fördel med takvärme är att värmarna är "ur vägen". Ingen eller lite hänsyn behöver tas vid placering av inredning, maskiner och annan utrustning och takvärmepanelerna tar ingen plats på väggen eller golvet.

Takvärmepaneler och värmestrips är också relativt enkla att flytta på om en lokal skall användas för annan verksamhet eller om väggar skall flyttas.

I t.ex. skolor och offentliga lokaler är värmarna ej tillgängliga för åverkan.  
(Fördjupning se kapitel III och kapitel VI).

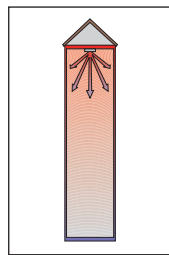
## Avsnitt 4

### När kan man inte använda takvärme?

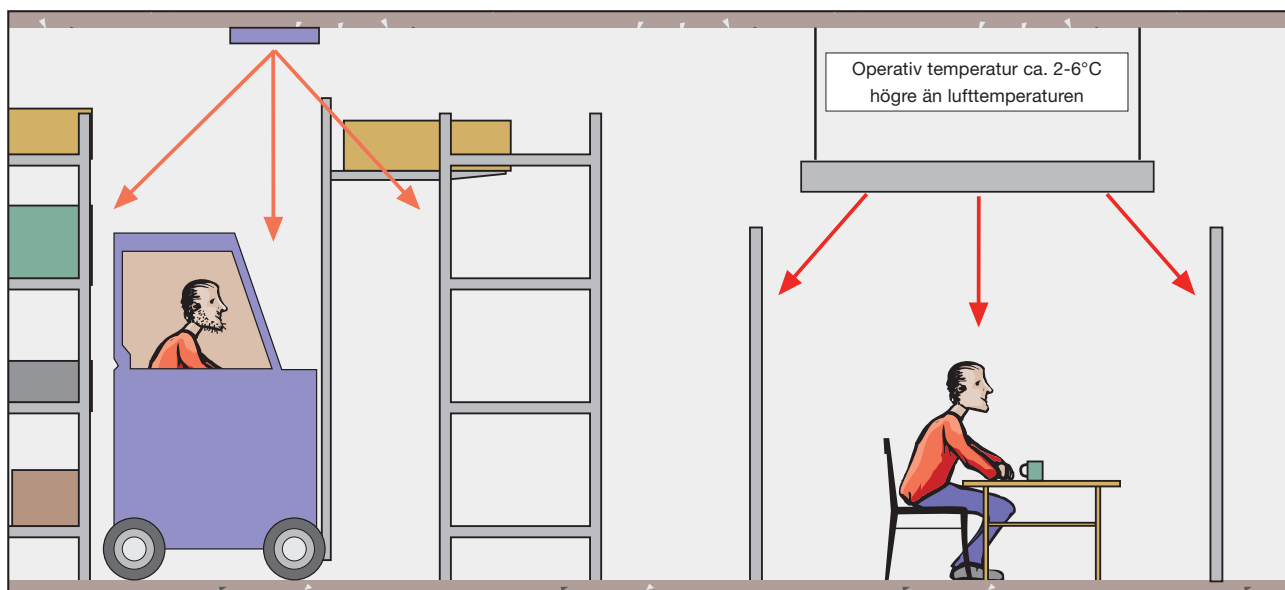
Det är inte många tillfällen där takvärme inte fungerar, men varje teknik har sina begränsningar. Följande exempel kan belysa takvärmens begränsningar:

För att förhindra luftläckage vid öppna portar fungerar inte takvärme bättre än andra värmesystem. Golv, väggar och eventuell inredning intill porten värms visserligen upp men takvärmens förhindrar inte luftläckning genom en öppen port. Däremot bidrar takvärmerna till att skapa bästa möjliga termiska klimat i zonen omkring porten genom att ytorna behålls varma medan kall luft strömmar in då porten är öppen.

I ett högt torn, t.ex. i ett fyrtorn, fungerar takvärme också sämre då väldigt lite av den utstrålade värmen når golvet och vistelsezonen. Inte på grund av att det är långt till golvet utan därför att golvet är en relativt liten yta av den totala ytan som takvärmaren "ser". En stor del av värmestrålningen kommer att upptas av väggytorna.



I ett högt smalt utrymme fungerar takvärme sämre.



Zonuppvärmning ger en högre operativ temperatur i del av lokal.

# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar

### Avsnitt 5

#### På vilken höjd kan takvärme installeras?

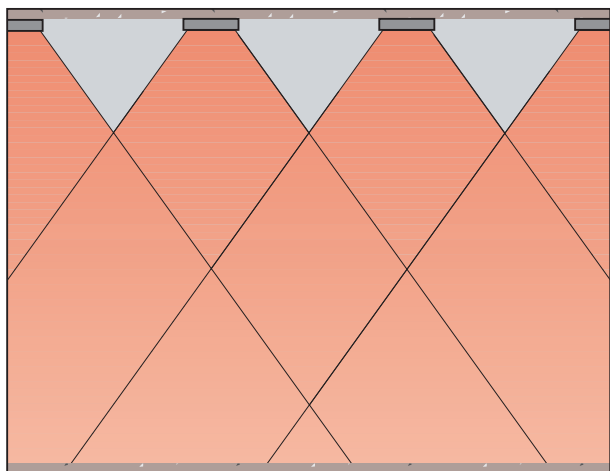
Så länge luften i lokalen är normalt ren så finns ingen begränsning, annat än byggnaden själv, för hur högt takpanelerna kan monteras. Strålningsvärmen hindras inte av luften och fördelar sig mot golv, väggar och inredning oavsett installationshöjd och ytemperatur på takvärmarna.

Däremot finns det begränsningar nedåt för hur lågt takvärme kan monteras. Det som spelar störst roll för lägsta installationshöjd är takvärmarens ytemperatur. Därefter kommer faktorer som värmarens längd/bredd-förhållande och om personen i rummet sitter eller står. Ju varmare yta desto högre måste takpanelen monteras för att en person under den inte skall känna obehag. Det är dock moderata gränser för lägsta installationshöjd, se avsnitt 7.

#### Ett exempel kan visa på detta:

En takvärmepanel med måtten 3,6 x 0,6 m och maximal ytemperatur på 50°C (55/45°C system) kan installeras så lågt som 2,1 m (!). Om ytemperaturen ökas till 70°C (80/60°C system) blir lägsta installationshöjd 2,8 m.

Det är i sammanhanget viktigt att påpeka att vi här talar om dimensionerande värmemetemperaturer som, statistiskt, inträffar några enstaka dagar per år. Under större delen av året är värmemetemperaturen i systemet lägre. (Fördjupning se kapitel II och IV).



Takhöjden spelar ingen roll, all strålningsvärme når alla väggar och golv. Det är bara intensiteten som avtar med höjden.

### Avsnitt 6

#### Påverkar takvärme ventilationen?

Takvärmen ger i sig inte upphov till några luftströmmar som kan påverka någon form av ventilation. Det innebär att takvärme är idealiskt i lokaler där det är höga krav på kontroll av luftflöden inom lokalen.

Vid projektering av ny- eller ombyggnad av fastigheter och lokaler medför det alltså att man är helt fri i valet av ventilationssystem vid kombination med takvärme. (Fördjupning se kapitel V).

### Avsnitt 7

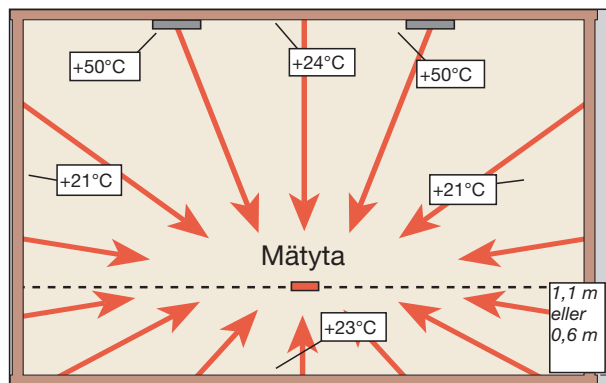
#### Blir det varmt på huvudet?

Strålningstemperaturasymmetri (STA) är ett begrepp som används för att ange hur stor skillnad i temperaturer på olika omgivande ytor en människa kan acceptera utan att uppleva besvär. STA märks t.ex. om man vänder ena ansiktshalvan mot en varm braskamin och den andra mot ett kallt fönster.

STA mäts på ett litet plan på antingen 0,6 m höjd, som motsvarar en sittande person, eller 1,1 m höjd vilket motsvarar en stående person. STA är skillnaden mellan värmestrålningen på ömse sidor om mätplanet.

Som tidigare nämnts i avsnitt 2 kommer värmestrålningen från takvärmen att värma upp omgivande ytor och speciellt golvet. Det medför att STA kommer att jämnas ut. En viktig faktor för att STA ligger inom acceptabla gränser är dock att takvärmaren är korrekt dimensionerad med hänsyn till dess maximala temperatur.

Är den förutsättningen uppfylld kommer STA att ligga inom de gränser för behagligt inomhusklimat som anges i Svenska Inneklimatinstitutets riktlinjer (R1) och även den internationella inneklimatstandarden ISO 7730.



Exempel på hur strålningstemperaturasymmetri (STA) mäts. STA är skillnaden mellan värmestrålning på ömse sidor om mätytan. Temperaturerna är givna endast som exempel.



# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar

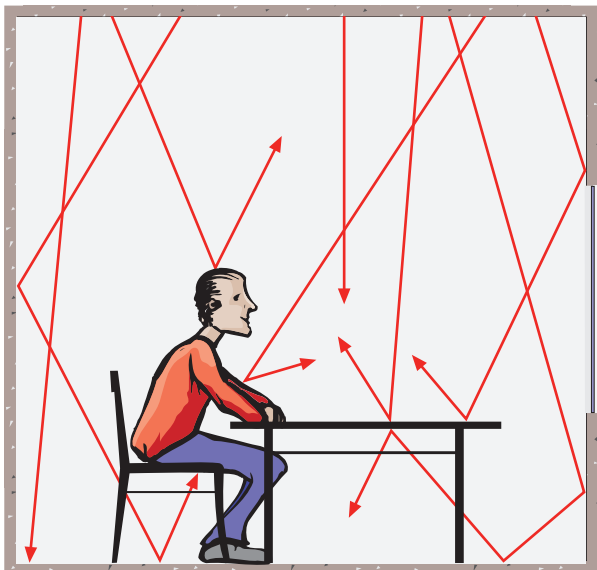
### Avsnitt 8

#### Blir det kallt under bordet?

Det är en utbredd missuppfattning att det blir kallt under bord och andra horisontella ytor med takvärme som uppvärmningssystem. Lika lite som det blir kallt under ett bord blir det heller inte kolsvalt under ett bord när enbart taklampan är tänd.

Värmestrålningen liksom ljusstrålarna från taket sprider sig till omgivande ytor. Dessa ytor absorberar det mesta av värmeenergin men reflekterar också en mindre del. Denna del av värmestrålningen "studsar" runt till rummets olika ytor och värmer omgivande ytor inklusive golvet under bordsytan. Även bordsytan blir varm på både över- och undersida genom direkt och indirekt värmestrålning. Det gör att skillnaden i lufttemperatur eller strålningstemperatur blir mycket liten under ett bord jämfört med bredvid bordet.

(Fördjupning se kapitel II).



Värmestrålarna reflekteras delvis och utjämnar skillnaden i temperatur.

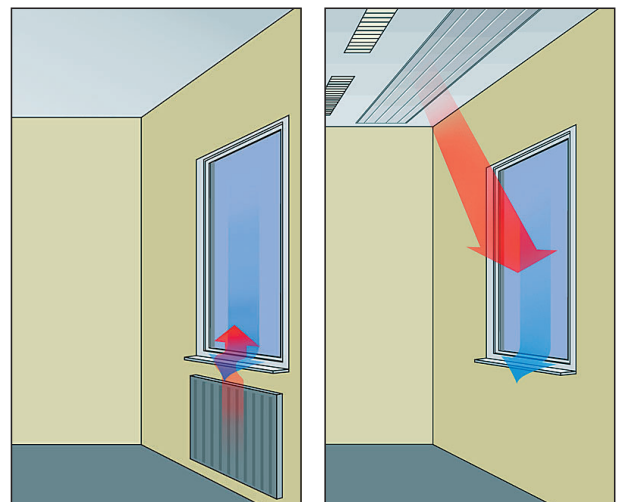
### Avsnitt 9

#### Blir det kallras vid fönstret?

Vid 2- och 3-glasfönster kan det uppstå risk för kallras (d.v.s. luftrörelser som orsakas av luft som kyls mot en kall yta) om det inte finns någon form av värmekälla vid fönstret som motverkar den nedåtgående luftströmmen. Värmekällan behöver dock absolut inte sitta under fönstret. En radiator under ett fönster ger upphov till en varm uppåtgående luftström som skall motverka det eventuella kallraset från fönstret. Takvärmen däremot hindrar kallraset vid dess källa, d.v.s. fönstrets kalla yta. Takvärmarna värmer nämligen upp fönstrets yta så att risken minimeras för kallras.

Takvärmen kommer alltså att genom värmestrålning direkt värma upp de ytor som är kalla. Som nämndes i avsnitt 2 så fördelas värmestrålningen till rummets ytor i proportion till dess yttemperaturer. Mer värmeeffekt går alltså till kallare ytor. Värmestrålningen från taket kommer därför att dels värma upp fönsterytan och fönsternischen och dels värma upp fönsterbänken. Därigenom kan kallraset från fönstret elimineras direkt vid "källan" dels p.g.a. den varmare fönsterytan och dels fönsternischens och fönsterbänkens värmande effekt.

Störst risk att uppleva obehag av kallras har människan vid stillasittande arbete och klädd i lättare inomhuskläder med arbetsplatsen nära ett ytterfönster och utan värmekälla som motverkar eventuellt kallras. Vid rörligt eller stående arbete en bit från ett ytterfönster är risken obefintlig, speciellt vid nyare lokaler med 3-glas fönster. (Fördjupning se kapitel II).



Takvärmaren förhindrar kallras genom att värma upp fönsterytan.

# Takvärmehandledningen

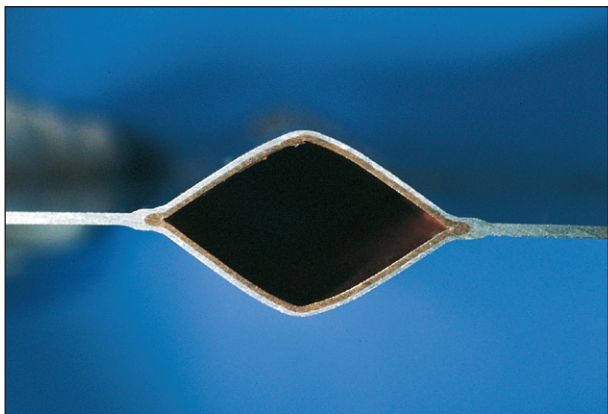
## Frågor och svar

### Avsnitt 10

#### Vilken livslängd har Lindab Comforts takvärmare?

Lindab Comforts baselement, vårt världspatent, används både i värme- och kylsystem samt i solfångare världen över, där temperaturerna blir ända upp till 250°C. På Statens Provnings- och Forskningsinstitut har man haft ytor i över 200°C temperatur och sedan chockat dessa med 10-gradigt vatten. Man har även haft ytorna utomhus för att efter flera år ta in och kontrollera dem igen. Man har också tryckprovat ytorna med ett tryck av 10-11 bar – 16000 gånger! Inte några av dessa tester har påverkat produktens kvalitet eller prestanda.

Vi känner inte till någon produkt på marknaden som är så grundligt testad som Lindab Comforts. Därför vågar vi påstå att Lindab Comforts takvärmare kan fungera lika länge som huset de är monterade i.  
(Fördjupning se kapitel IV)



Tvärsnitt av vattenkanalen i Lindab Comforts takvärmare.

### Avsnitt 11

#### Kan takvärmeinstallationen förändras med ändrad verksamhet?

Idag är det vanligt att en byggnad och dess inre genomgår stora förändringar under sin livstid. Det är därför nödvändigt att både väggar och installationer kan förändras och flyttas utan allt för stora kostnader.

Takvärmen har stora fördelar därvidlag. Rörsystemet är ofta monterat synligt eller i undertak som är lätt demonterbart vilket gör det enkelt att demontera eller bygga om. Om takvärmarna är installerade i ett kassettundertak kan de mycket lätt byta plats med undertakskassetter på de ställen där takvärmarna behövs. Är de pendlade kan de också lätt demonteras och flyttas till annat ställe.

Här finns också fördelen med just Lindab Comforts takvärmeprodukter. De har marknadens lägsta vikt vilket gör att förändringar av takvärmeinstallationen, speciellt vid hög takhöjd, går extra lätt.

Fastighetsägaren/förvaltaren är inte bunden till en speciell typ av hyresgäst. De kan växla mellan t.ex. tillverkande industri, dansstudio och lager. Ingen hänsyn till värmesystemet behöver tas vid renovering eller ombyggnad av golv eller väggar.

# Takvärmehandledningen

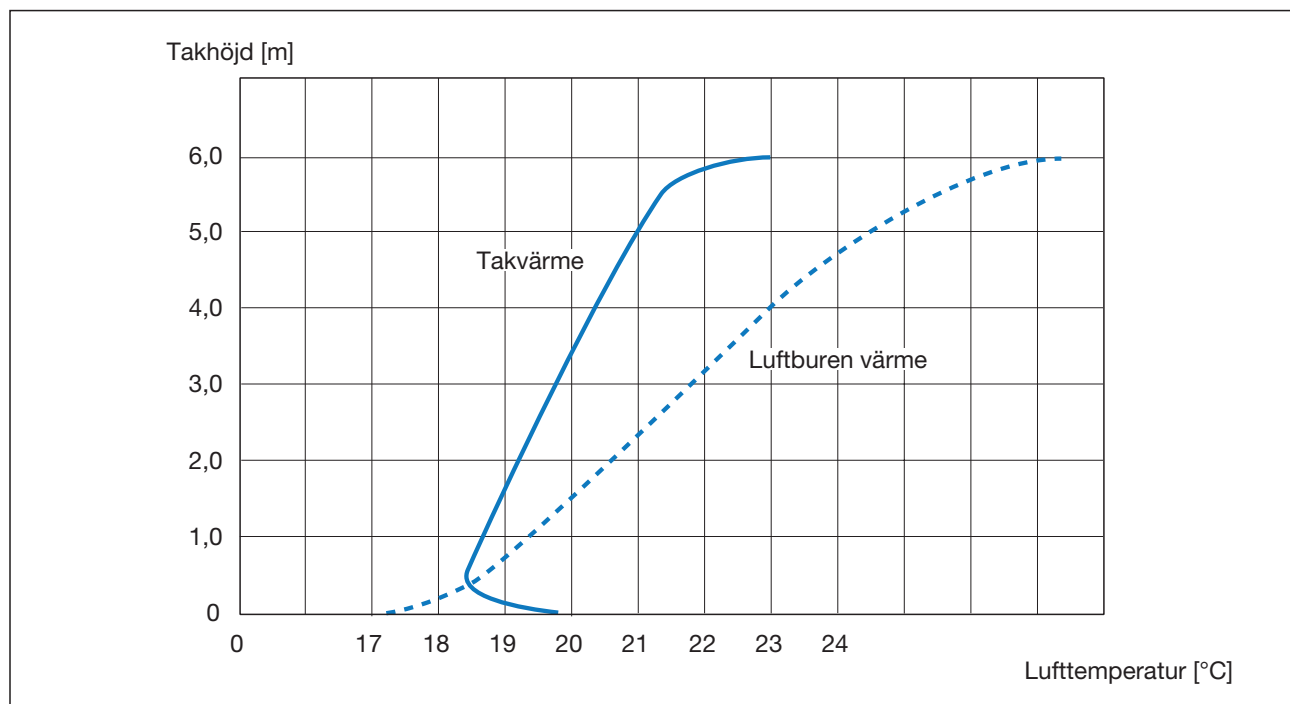
## Frågor och svar

### Avsnitt 12

#### Vilken effekt behöver installeras?

Vid beräkning av dimensionerande värmeeffektbehovet beräknas först byggnadens olika byggnadsdelar vad gäller area och värmegenomgångstal (U-värde). Detta beräknas på normalt sätt enligt gällande byggregler och Svensk Standard. Dessutom bestäms vilken temperatur det skall vara inomhus och den dimensionerande ute-temperaturen, DUT. Den senare beräknas normalt enligt Svensk Standard. Därefter kan en beräkning av dimensionerande värmeeffekten för byggnaden göras.

Emellertid bör man vid beräkningarna ta hänsyn till att det är temperaturskillnad mellan tak och golv (temperaturgradient). Temperaturgradienten kan ge stora skillnader i temperatur mellan tak och golv vid höga takhöjder. En av takvärmens stora fördelar är att temperaturgradienten är, relativt andra värmesystem, liten, ca.  $0,5^{\circ}\text{C/m}$ . Detta förhållande ger små skillnader i temperatur mellan tak och golv. Uppvärmning med t.ex. fläktluftvärmare (aerotermer) ger en temperaturgradient på ca.  $2^{\circ}\text{C/m}$ . En liten temperaturgradient ger naturligtvis ett lägre värmeeffektbehov, då inomhustemperaturen vid taket blir lägre.

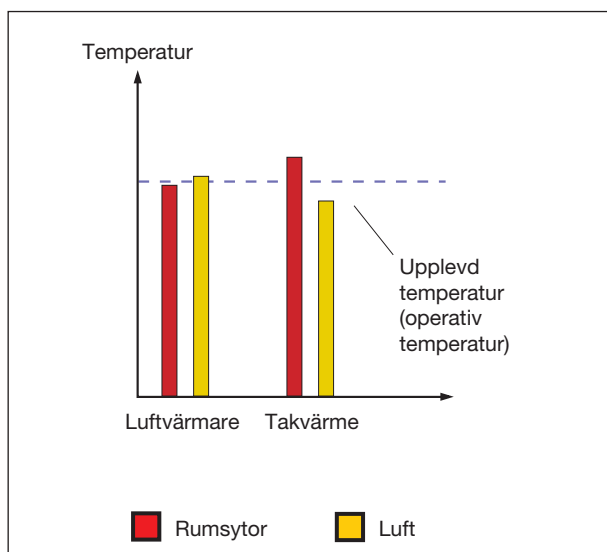


Exempel på temperaturfördelning i luften i en lokal med olika värmesystem.

# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar

Förutom den låga temperaturgradienten kan man för takvärme också normalt räkna med ca. en till två grader lägre inomhustemperatur vid nybyggnation, p.g.a. strålningstillskottet från omgivande ytor (se avsnittet 1 och 2), och därmed sänka installerade uppvärmningseffekten. Vid ombyggnad eller renovering bör dock en noggrannare analys göras för att undersöka om byggnadens standard efter åtgärder och verksamheten i den är sådan att det är möjligt att räkna med sänkt inomhustemperatur.



*Takvärme ger varma rumsytor och medger därför lägre lufttemperatur. Det medför ett lägre värmeeffektbehov.*

Ett exempel kan förklara skillnaden i effektbehov p.g.a. lägre inomhustemperatur och mindre temperaturgradient; antag en nybyggd hall på 1000 m<sup>2</sup> med en takhöjd på 5 m och normala konstruktioner i väggar, tak och golv. Fönsterarean motsvarar 10% av golvarean. Erforderlig värmeeffekt för transmission och ofrivillig ventilation blir för två olika värmesystem enligt följande (värmeeffekt för ventilation är ej medtagen):

| Värmesystem                   | Temp. i vistelsezon/gradient | Värmeeffekt |
|-------------------------------|------------------------------|-------------|
| Fläktluftvärmare (aerotemper) | 20°C / 2°C/m                 | 71,3 kW     |
| Takvärme                      | 18°C / 0,5°C/m               | 58,5 kW     |

Takvärmesystemet erfordrar alltså i detta exemplet endast 82% av värmeeffekten jämfört med ett system med fläktluftvärmare. Det bör betonas att skillnaden blir mindre i lokaler med lägre takhöjd. (Fördjupning se kapitel VII).

## Avsnitt 13

### Spar takvärme energi?

På den frågan kan man svara ja i de allra flesta fall när man jämför med andra konventionella värmesystem. Att takvärme spar energi beror dels på att man kan hålla en lägre lufttemperatur i vistelsezonen (ca. 1-2°C) utan att den upplevda (operativa) temperaturen sänks och dels på att skillnaden mellan tak och golvtemperaturen (temperaturgradienten) är mindre (se avsnitt 1 och 12). Det senare medför att det inte blir en stor varmluftskudde i taket som skulle kunna ge stora värmeförluster genom taket.

Hur stor energibesparingen blir beror på vilken typ av fastighet det är och eventuellt tidigare värmesystem. För fastigheter med takhöjd på 2-3 meter kan man räkna med en besparing på 2-7%. För fastigheter med större takhöjd kan energibesparingen bli ännu större, speciellt om byggnaden är av äldre datum, är otät eller har stora portar eller öppningar som ger stor andel luftläckage (ofrivillig ventilation). Besparingar på upp till 30% redovisas i både svenska och utländska forskningsrapporter. (Fördjupning se kapitel VII)

## Avsnitt 14

### Vad kostar det?

Svaret på den frågan blir olika beroende på vilket tidsperspektiv man antar och vilka kostnader som tas med. Vi har valt att se på längre sikt, i detta fallet 15 år, då den totala kostnadsbilden i de flesta fall är mer intressant för förvaltare eller fastighetsägare. Ser man dock bara på investeringskostnaden så är takvärme näst billigast i exemplet.

Exemplet visar den kalkylerade totalkostnaden för fyra olika värmesystem. De olika systemen är takvärme, golvvärme, fläktluftvärmare (aerotemper) och luftvärme.

Förutsättningarna för kalkylen redovisas också och byggs på en antagen nybyggd industrihall med måtten 60 x 40 m med takhöjd på 8 m, belägen i Göteborg. Hallen antas vara ansluten till Göteborgs fjärrvärmenät. I investeringskostnaden ingår material och arbetskostnader inklusive anslutningsavgift till fjärrvärme och injusteringsarbete för respektive värmesystem. Investeringskostnaden för de olika värmesystemen, inklusive takvärmesystemet, har kalkylerats av en oberoende konsultfirma.

Årliga drift- och underhållskostnader (DoU) kalkyleras som en procentsats av investeringen och inkluderar driftel, underhålls- och reparationskostnader. För takvärme och golvvärme antas den till 0,5% och för fläktluftvärmare och luftvärme till 2% av investeringskostnaden. Energiförbrukningen för de olika värmesystemen, som inkluderar värmeenergiebehov för transmission och ofrivillig ventilation, har kalkylerats med de förutsättningar som ges nedan. Energiebehovet för ventilation är ej inkluderat då det antas lika för samtliga värmesystem.



# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar

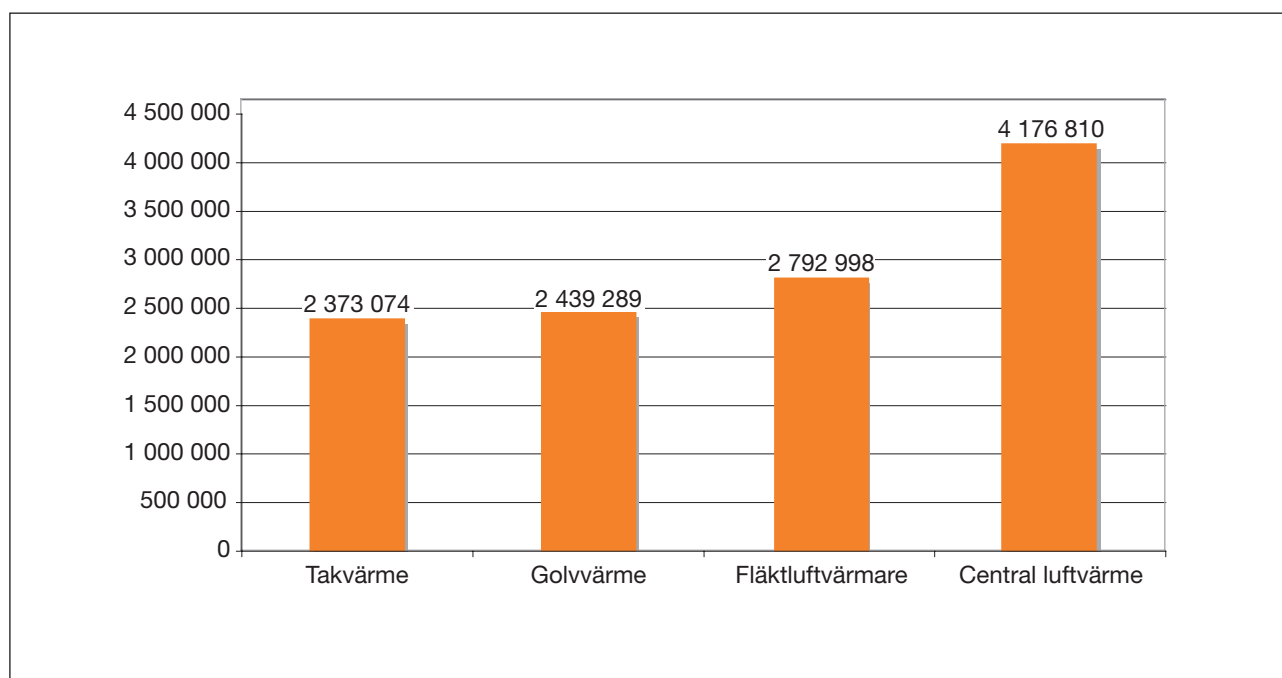
Totala kostnaden för respektive system inkluderar investeringskostnad, drift- och underhållskostnader samt energikostnader. Den totala kostnaden redovisas dels som ett nuvärde och dels som en annuitet.

### Gemensamma förutsättningar:

|                   |            |
|-------------------|------------|
| Kalkylränta:      | 10%        |
| Ek. livslängd:    | 15 år      |
| Energipris:       | 450 kr/MWh |
| Energiprisökning: | 2% per år  |

| Värmesystem       | Investering (kr) | DoU (kr/år) | Energiförbrukning (MWh/år) | Totalkostnad |                  |
|-------------------|------------------|-------------|----------------------------|--------------|------------------|
|                   |                  |             |                            | Nuvärde (kr) | Annuitet (kr/år) |
| Takvärme          | 840.00           | 4.200       | 386                        | 2.373.000    | 311.997          |
| Golvvärme         | 945.00           | 4.725       | 375                        | 2.439.000    | 320.703          |
| Fläktluftvärmare  | 777.000          | 15.540      | 488                        | 2.792.998    | 367.206          |
| Central luftvärme | 2.170.500        | 43.410      | 431                        | 4.176.810    | 549.141          |

Kostnaden för olika värmesystem. Investeringskostnaden har kalkylerats av en oberoende konsultfirma.



Nuvärde av totalkostnad för fyra olika värmesystem.

# Takvärmehandledningen

## Frågor och svar

### Beräkningsförutsättningar:

|                         |                 |                           |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|
| U-värde                 | tak:            | 0,2 W/m <sup>2</sup> , °C |
|                         | väggar:         | 0,2 W/m <sup>2</sup> , °C |
|                         | golv inre zon:  | 0,3 W/m <sup>2</sup> , °C |
|                         | golv yttre zon: | 0,3 W/m <sup>2</sup> , °C |
|                         | fönster:        | 2,0 W/m <sup>2</sup> , °C |
| Area                    | tak:            | 2400 m <sup>2</sup>       |
|                         | väggar:         | 1400 m <sup>2</sup>       |
|                         | golv inre zon:  | 1000 m <sup>2</sup>       |
|                         | golv yttre zon: | 200 m <sup>2</sup>        |
|                         | fönster:        | 200 m <sup>2</sup>        |
| Takhöjd:                |                 | 8 m                       |
| Ofrivillig ventilation: |                 | 0,3 oms/h                 |

|                                              | Tak-<br>värme    | Golv-<br>värme   | Fläktluft-<br>värme | Luft-<br>värme    |
|----------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|
| Inomhustemp,<br>vistelsezon (°C)             | 19 <sup>1)</sup> | 19 <sup>1)</sup> | 20                  | 20                |
| Temperatur-<br>gradient (°C/m <sup>2</sup> ) | 0,7              | 0,5              | 2,0                 | 1,0 <sup>3)</sup> |

### Övriga förutsättningar:

1. Takvärme och golvvärme erfordrar lägre lufttemperatur, 19°C, för att upprätthålla en bestämd operativ temperatur, som i detta fall antas till 20°C.
2. Angiven temperaturgradient gäller vid dimensionerande utetemperatur. Vid andra utomhustemperaturer antas den sjunka linjärt för att bli noll då inget värmebehov föreligger.
3. Temperaturgradienten för luftvärme gäller då s.k. tropikfläktar är installerade.

## Avsnitt 15

### Kan man återvinna Lindab Comforts produkter?

Livscykelanalyser (LCA) som har gjorts för aluminiumprodukter visar på många gemensamma drag. Materialets tillverkningsdel (brytning, anrikning och produktion) får förhållandevis höga belastningstal för både energi och miljö. I produktanvändningsdelen får man i jämförelse med andra material ett omvänt förhållande. Den belastning som aluminiumprodukter ger vid tillverkningsdelen uppvägs många gånger helt av den lägre miljöpåverkan i användningsdelen.

Om aluminium dessutom återvinns i ännu högre utsträckning kommer miljöbelastningen från tillverkningsdelen att minska i motsvarande grad.

Lindab Comforts takvärmesystem består uteslutande av koppar, aluminium och en isolerskiva av expandrad polystyren samt en liten mängd tennlod. Allt ingående material exklusive isolerskivan är till 100% återvinningsbart. Redan idag går allt skrot från produktionen till återvinning.

Vid rivning av en byggnad där Lindab Comforts takvärmeprodukter finns installerat kan det metalliska materialet i dessa återvinnas till 100%. Aluminium och koppar är visserligen metalliskt förbundna i tillverkningsprocessen och kan inte separeras, men återvinning är ändå möjlig. Takvärmarna pressas ihop i paket om ca. 20 x 20 cm och används inom metallindustrin som legeringstillätsor i olika aluminiumkvaliteter. I varje paket är ju andelen koppar väl definierad då varje centimeter av en panel innehåller lika många procent koppar. (Fördjupning se kapitel VIII).

# Takvärmehandledningen

## Kapitel I

### Hur människan upplever det termiska klimatet

#### Värmeutbyte

Människans värmeutbyte med omgivningen beror på dess aktivitet, beklädnadsgrad och hur mycket värme som överförs till omgivningen via främst konvektion och strålning. En del värme avges i form av latent värme som vattenånga. Normalt tillförs inte denna värme till rum inomhus utan avges utomhus genom kondensation.

#### Aktiviteten

Aktiviteten eller metabolismen avgör hur mycket värme som alstras i kroppen och uttrycks i sorten met (1 met = 58 W/m<sup>2</sup>). Aktivitetsgraden inomhus hos människor varierar normalt mellan 0,8 met (sovande) till 7 met (hårt fysiskt arbete). Vanligt värde vid normal kontorsaktivitet är 1,1-2,2 met. Hur hög metabolism en person har vid ett givet arbete bestäms också av individuella faktorer såsom ålder, kroppsvikt, kön, hälsotillstånd m.m.

#### Beklädnadsgraden

Beklädnadsgraden är ett mått på värmeisoleringen av människokroppen och uttrycks i enheten clo (1 clo = 0,155°C m<sup>2</sup>/W). Den varierar mellan 0 clo naken och ca. 3 clo nedbäddad i tjocka sängkläder. En vanlig klädsel inomhus ligger inom intervallet 0,7 till 1,2 clo.

#### Människans värmeutbyte

Människans värmeutbyte sker i normala fall främst genom konvektion och strålning. Dessa är i stort sett lika vid små lufthastigheter. När luft strömmar förbi huden med högre hastighet än ca. 0,1 m/s ökar successivt den konvektiva värmeöverföringen. Om människan blir för varm och börjar svettas avges även en betydande mängd värme genom att fukt avdunstar från kroppen (fasomvandling). Vid termisk komfort är svettproduktionen mycket liten och den fukt som trots allt avdunstar från huden räknas in i den konvektivt avgivna värmen. Luftens fuktighet påverkar mängden fukt som avdunstar från hud och slemhinnor. Ju torrare luft desto större mängd fukt avges från hud och slemhinnor.

#### Konvektion

Konvektion som en person utsätts för består av dels egenkonvektion, som uppstår p.g.a. att människan värmer upp luften närmast kroppen som därmed stiger och ger upphov till en luftcirkulation, och dels påtvingad konvektion som är yttre luftcirkulationer från t.ex. ventilation eller drag. Gränsen för obehaglig lufthastighet varierar främst med omgivande temperaturer, och därför är den normala gränsen inomhus 0,15 m/s på vintern och 0,2-0,4 m/s på sommaren, ref. [8], se sid 34. Det högre värdet sommartid beror på att rumstemperaturen oftast är högre under sommarmånaderna och därmed höjs gränsen för obehaglig lufthastighet.

#### Strålning

Strålning sker som ett nettoutbyte mellan två kroppar/ ytor och går i vanliga fall från människan till en kallare omgivning. Storleken på värmeöverföringen via strålning beror av personens aktivitet och beklädnadsgrad samt omgivningens ytemperaturer.

#### Temperatur

När det gäller luftens och omgivande ytors temperaturer så finns ett antal olika temperaturer definierade för att beskriva dess påverkan på människan. Nedan presenteras de mest vanliga.

#### Förutom lufttemperatur finns

**Vertikal temperaturgradient (°C/m):** Ett mått på hur mycket lufttemperaturen ändrar sig vid olika höjd över golvet. Bestäms normalt som temperaturdifferensen mellan 0,1 m och 1,1 m höjd. Temperaturgradienten bör vara mindre än 2-3°C/m för att undvika obehag. Det lägre värdet används om det rör sig om stillasittande arbete. Det bör dock påpekas att en temperaturgradient på 2-3°C/m medför att det uppstår en betydande skiktning av luften och därmed också en stor energiförlust vid taknivå. Temperaturgradienten för Lindab Comforts takvärmare ligger normalt på ca. 0,4-0,5°C/m vilket medför att energiförlusten vid taknivå minskar kraftigt. Se även kapitel VII.

**Plan strålningstemperatur (°C):** Används för att bestämma strålningsutbytet för en liten plan yta (hudparti) som vetter mot en viss riktning. Strålningsutbytet är beroende av ytemperaturen och vinkelfaktorn från respektive delyta som kan "ses" av den plana ytan. Plan strålningstemperatur beräknas med hjälp av uppmätta ytemperaturer och vinkelfaktorer eller mäts med en strålningstemperaturmätare.

**Strålningstemperatursymmetri (°C):** Strålningstemperatursymmetri (STA) definieras som skillnaden i plan strålningstemperatur på ömse sidor om en liten plan yta. STA mäts i ett plan 0,6 m över golv vid sittande aktivitet eller 1,1 m över golv vid stående aktivitet. Maximalt bör STA vara 5°C vid fall där värmestrålningen kommer från taket. Se även kapitel VI.

**Medelstrålningstemperatur (°C):** Ett mått för att bestämma kroppens totala strålningsutbyte med omgivande ytor. Medelstrålningstemperaturen avser medelvärdet av strålningsutbytet i alla riktningar.

**Operativ temperatur (°C):** Beskriver den sammanlagda inverkan av lufttemperatur och medelstrålningstemperatur på människans värmebalans. Ofta antar man den operativa temperaturen som medelvärdet av lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen.

**Riktad operativ temperatur (°C):** Begrepp i svenska byggregler som används för att beskriva värmeutbytet för ett litet tänkt hudparti. Definieras för en viss mätpunkt och riktning i rummet som medelvärdet av lufttemperatur och plan strålningstemperatur.

# Takvärmehandledningen

**Ekvivalent temperatur (°C):** Ett mått för att beskriva den sammantagna inverkan av lufttemperatur, strålningstemperatur och lufthastighet på människans värmebalans. Sambandet påverkas också av människans aktivitet och klädsel.

## Termiskt komfort

Vilka klimatförutsättningar inomhus som ger termisk komfort skiljer sig åt mellan olika individer. I försök, utförda av professor P O Fanger, ref. [21], där stora grupper människor har utsatts för olika klimatpåverkan visar dock att flertalet människor reagerar på inomhusklimatet på ett likartat sätt. Försöken har mynnat ut i kriterier för termisk komfort som bygger på klimatförutsättningar där en majoritet av en stor grupp människor uppfattar klimatet som neutralt.

Med hjälp av en del av ovan nämnda klimatkriterier kan graden av termisk komfort beräknas genom ett PMV-index (Predicted Mean Vote). Det värdet anger en statistiskt grundad förutsägelse av hur en större grupp människor skulle betygsätta graden av komfort för ett visst klimat vid en given aktivitetsgrad och klädsel. Utifrån PMV indexet kan man sedan beräkna ett PPD-index (Predicted Percentage of Dissatisfied), som anger hur stor del av en större grupp människor som finner ett visst inomhusklimat otillfredsställande.

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

där:

$$\begin{aligned} t_{cl} = & 35,7 - 0,028(M-W) - 0,155I_{cl}[3,96 \times \\ & 10^{-8} f_{cl}\{(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4\} - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)] \\ \left\{ \begin{aligned} h_c = & \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{för } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1(v_r)^{0,5} \\ 12,1(v_r)^{0,5} & \text{för } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1(v_r)^{0,5} \end{cases} \\ f_{cl} = & \begin{cases} 1,00 + 0,2I_{cl} & \text{för } I_{cl} < 0,5 \text{ clo} \\ 1,05 + 0,1I_{cl} & \text{för } I_{cl} > 0,5 \text{ clo} \end{cases} \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

## Förklaring:

M = Metabolism (W)

W = Externt arbete (W)

I<sub>cl</sub> = Beklädnadsgrad (clo)

p<sub>a</sub> = Vattenångans partialtryck (Pa)

f<sub>cl</sub> = Beklädnadens ytfaktor, d.v.s. förhållandet naken hud och beklädd hud

t<sub>cl</sub> = Beklädnadens yttemperatur (°C)

h<sub>c</sub> = Konvektivt värmeövergångstal (W/m<sup>2</sup> °C)

t<sub>r</sub> = Medelstrålningstemperaturen (°C)

t<sub>a</sub> = Rumslufttemperaturen (°C)

v<sub>r</sub> = Relativ lufthastighet (m/s) = v + 0,005(M-58)

v = Medelhastigheten i rumsluften

När PMV-index är känt kan PPD-index beräknas ur:

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

Med dessa formler är det mycket omständligt att för hand räkna ut vad PPD-index blir i ett givet fall. Betydligt enklare blir det med ett klimatsimuleringsprogram som ger PPD-index eller andra klimatindex som resultat av en simulering av ett rum. Lindab Comforts eget klimatsimuleringsprogram TEKNOSim ger som resultat bl.a. lufttemperatur, operativ temperatur och PPD-index.

Enligt Fangers formel kan maximalt 95% vara tillfredsställda med ett givet inomhusklimat, d.v.s. minst fem procent kommer alltid att uppleva ett givet inomhusklimat som otillfredsställande (PPD= 5% och PMV=0 anger bästa möjlig termisk komfort). I Svenska Inneklimatinstitutets skrift R1, ref. [8], baserar sig de olika angivna klasserna för termiskt inneklimat på PPD-index som går från <10% missnöjda för högsta klassen till 20% missnöjda för den lägsta klassen.

# Takvärmehandledningen

## Kapitel II

### Så här fungerar takvärme

Lindab Comforts takvärmeprodukter utnyttjar värmestrålningen som ett huvudsakligt sätt att överföra värme (ca. 60% av total värmeeffekt). I detta kapitel går vi igenom grunderna som gäller för värmestrålning.

#### Värmestrålning

Värmestrålning är en elektromagnetisk strålning, där våglängden ligger på ca. 9-15 mm vid yttemperaturer på ca. 30-70°C. Våglängden blir kortare ju varmare temperaturen blir på en yta och längre ju kallare ytan är. Värmestrålningen vid dessa temperaturer är osynlig för ögat. Det är först när temperaturen på en ytan närmar sig 600-800°C som värmestrålningen börjar bli synlig för ögat.

Värmestrålning sänds ut från alla kroppar som är varmare än absoluta nollpunkten (-273,16°C). Den absoluta värmestrålningen från en kropp är man sällan intresserad av. Däremot är nettoutbytet av strålningsenergi mellan två kroppar eller ytor intressant att kunna beräkna i tekniska sammanhang.

#### Värmeöverföring genom strålning

Värmeöverföringen (nettoutbytet) vid strålning beror på temperaturskillnaden mellan ytorna, deras geometriska förhållande och ytornas beskaffenhet. Värmefflödet,  $P_s$ , mellan två ytor formuleras i följande formel:

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

$$\text{där } F_{12} = \frac{1}{\frac{1}{f_{12}} + \left(\frac{1}{\epsilon_{12}} - 1\right) + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)}$$

Här är  $f_{12}$  en funktion av det geometriska förhållandet mellan ytorna  $A_1$  och  $A_2$  och kallas vinkelfaktor. Vinkelfaktorn kan beräknas eller avläsas i diagram ur handböcker i värmeöverföring. Vid beräkning av värmestrålning är det alltid den projicerade arean av en yta som används. Nettoutbytet av värmestrålning ökar alltså inte från en veckad eller räfflad yta jämfört med en slät yta.

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$  (Stefan-Boltzmanns konstant)

$\epsilon_1$  = Den värmestrålände ytans emissionstal

$\epsilon_2$  = Den mottagande ytans emissionstal

$A_1$  = Den värmestrålände ytans projicerade area ( $\text{m}^2$ )

$A_2$  = Den mottagande ytans projicerade area ( $\text{m}^2$ )

$T_1$  = Den värmestrålände ytans temperatur  
(K = Kelvin som är  $T \text{ } ^\circ\text{C} + 273$ )

$T_2$  = Den mottagande ytans temperatur (K)

Det är viktigt att komma ihåg att strålningsutbytet mellan två ytor (t.ex. en takvärmare och ett golv) inte avtar med avståndet så länge luften som strålningen passerar är normalt ren. Det beror på att luftens absorption av värme-strålningen är försumbar, se nedan. Däremot avtar strålningsintensiteten (effekt per ytenhet), och därmed den överförda energin, mot en given yta om avståndet ökar eller ytan vinklas. Det påverkar vinkelfaktorn vilken ingår i faktorn  $F_{12}$ , och beror på avståndet och vinkeln mellan ytorna samt storleken och temperaturerna på ytorna. Ett välkänt exempel på strålningsintensitetens variation är solstrålningens intensitet över dagen och även över året. Solstrålningen mot jorden varierar dels med avståndet till jorden och dels med vinkeln mot jorden.

Den ytan som har lägre temperatur kommer vara mottagare av nettoutbytet av värmestrålningen. I takvärme-sammanhang är det alltid omgivande rumsytor som är mottagare av värmestrålningen. Vid strålningsuppvärmning kommer alltså omgivande ytor som har lägre temperatur än strålningsvärmaren att absorbera värme-strålningen och därigenom höja sin temperatur, normalt några grader över rumslufttemperaturen.

#### Luftens betydelse

När värmestrålningen passerar genom luften så absorberas i stort sett ingen strålning alls. Gaserna koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) och vattenånga ( $\text{H}_2\text{O}$ ) absorberar och emitterar emellertid värme-strålning medan s.k. elementära gaser (gas där atomerna är av ett slag) t.ex.  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  och  $\text{H}_2$  är transparenta för värme-strålning. Med luftens sammansättning av olika gaser där  $\text{CO}_2$  (0,05 vikt %) och  $\text{H}_2\text{O}$  (0,7 vikt %) har mycket låga koncentrationer och  $\text{O}_2$  (21 vol%) och  $\text{N}_2$  (79 vol%) har höga koncentrationer så kan luft betraktas som helt transparent för värme-strålning med de tjocklekar på luftskikt som är normalt (< 20 m). Dock kan en onormalt hög partikelhalt i luften ha en mindre betydelse för värmeutbytet mellan takvärmare och omgivande ytor.



# Takvärmehandledningen

## Emissionstal

Emissionstalet,  $\epsilon$ , anger hur stor andel energi en yta strålar ut jämfört med en perfekt strålningsyta, s.k. svart kropp. Emissionstalet är lika med 1 för en svart kropp och mellan 0 och 1 för alla andra material. Ju högre emissionstal desto bättre fungerar ytan som en värme-strålare och värmemottagare. Nedan visas emissions-talet vinkelrätt från ytan för några material vid normala rumstemperaturer:

|                                        |      |
|----------------------------------------|------|
| Aluminium, valsblank:                  | 0,04 |
| Koppar, polerad:                       | 0,03 |
| Glas:                                  | 0,94 |
| Trä (bok):                             | 0,94 |
| Tegel, puts:                           | 0,93 |
| Betong:                                | 0,88 |
| Vit lack (Lindab Comforts takvärmare): | 0,95 |
| Mattsvarlack:                          | 0,97 |

Som framgår av tabellen så är alla ytor utom metallytor bra värmestrålare/värmemottagare.

Värdena visar att en vitlackad yta är nästan lika bra som en svartlackad matt yta. Det är bl.a. av den anledningen som Lindab Comforts takvärmepaneler är lackerade på undersidan men ej på ovansidan. På ovansidan av takvärmaren är ytan vanlig oxiderad aluminium som i och för sig har högre emissionstal än valsblank aluminium men långt mindre än en vitlackerad yta. På så sätt kan strålningens energi "styras" till undersidan av värmaren där den bäst behövs. För att ytterligare styra värmestrålningen nedåt är ovansidan dessutom isolerad.

Intressant att notera är att glas har ett relativt högt emissionstal och att det ligger på samma nivå som några av de vanligare byggnads- och inredningsmaterialen. Vad gäller glas så kan ingen lågtemperaturstrålning passera genom glaset, utan all sådan strålning antingen absorberas (ca. 88%) eller reflekteras (ca. 12%). Solens strålning, med betydligt högre temperatur och därmed kortare våglängd, släpps dock igenom. Detta förhållande är bakgrunden till begreppet "växthuseffekt" i just växthus och andra byggnader med stora glasytor.

## Termisk komfort vid värmestrålning

Människan är i förhållande till sin omgivning en varm kropp och strålar därför också ut en del av värmeöverskottet till omgivningen. När omgivande ytor har en högre temperatur än normalt, som är fallet vid strålningsuppvärmning, är utstrålningen mindre från kroppen. I en lokal med strålningsuppvärmning kommer därför en person att uppleva omgivningen varmare genom att dess utstrålning till omgivande ytor är mindre än vid konventionell uppvärmning vid samma lufttemperatur.

På grund av detta kan man alltså sänka lufttemperaturen vid strålningsuppvärmning och ändå erhålla samma operativa temperatur. I normala fall kan man sänka lufttemperaturen 1-2°C, ref. [4], och fortfarande uppnå erforderlig operativ temperatur.

Värmestrålningen i ett rum antingen absorberas eller reflekteras. Vid absorption av strålningsvärme höjs ytans temperatur. Vid normala inrednings- och byggnadsmaterial ligger den reflekterande andelen av strålningen på endast ca. 5-10%, vilket innebär att det mesta av värmestrålningen absorberas. Det är den främsta anledningen till att yttemperaturen på ett bords undersida, ref. [1], ligger ett par grader över lufttemperaturen. Alla ytor, inklusive all inredning och möbler, absorberar värmestrålningen och blir varmare än omgivande lufttemperatur. Det medför att både lufttemperaturen och den operativa temperaturen kommer att jämnas ut även i delar av rummet som takvärmaren inte direkt "ser".

I ref. [1] anges skillnaden mellan lufttemperatur under och vid sidan av ett bord till 0-0,9°C beroende på mät-fall. Noterbart är att yttemperaturen på bordets undersida låg 0,7-3,2°C över lufttemperaturen. Det visar att bordet värms upp av värmestrålningen från taket. I ref. [2] redovisas en skillnad i lufttemperatur under och vid sidan av en skolbänk till maximalt 0,3°C. Skillnaden i strålnings-temperatur anges här till maximalt 1,6°C. Enligt våra egna mätningar gjorda i olika miljöer, som t.ex. barndaghem, kontor, skolor och industrier, så ligger skillnaden i operativ temperatur på ca. 0,2-0,4°C under respektive bredvid ett bord.

## Kallras

Det är en mängd faktorer som påverkar om och hur starkt man upplever ev. kallras från ett fönster. Till de viktigare hör bl.a. fönstrets U-värde, fönsternischens utformning, ventilationsprincip, luftdonens placering, luftdonens egenskaper, uppvärmningssystem, personens bekläd-nad och aktivitet, rummets geometri och möblering, infil-tration och utetemperatur, ref. [5] [6] [7]. Det är alltså inte enbart en fråga om värmaren sitter under fönstret eller i taket.

# Takvärmehandledningen

Ett tilluftsdon med bakkantsinblåsning med för lång kastlängd och låg inblåsningstemperatur kan vara en orsak för att kallras skall utlösas. Möbleringen kan med radiatorer under fönstren vara en kritisk faktor om t.ex. ett bord placeras nära fönstret. Då avskämmas den uppåtgående varmluftströmmen från radiatorn under bordet och kallraset "rinner" ut över bordet och sedan ned på golvet, ref. [7].

I ref. [1] [2] och [3] redovisas förhöjda ytemperaturer på fönstrets insida beroende på att glasytorna absorberar värmestrålning. Ett gemensamt resultat hos alla tre är att strålningsvärmen fördelas olika över fönsterytan. Fönstret får högre ytemperatur i överdelen och en något lägre i underdelen. En förhöjning på ca. 2-10°C noteras beroende på mät punkt och mätfall. Det är viktigt att påpeka att det i samtliga fall rörde sig om tvåglasfönster. I moderna hus med treglasfönster kommer temperaturhöjningen att bli ännu större. Våra egna mätningar av ytemperaturer på fönster, som värms av takvärmare, ger vid handen att tvåglasfönster får en ytemperatur på 12-17°C och treglas får 17-20°C vid en utetemperatur på mellan 0°C och -5°C.

I ref. [2] noteras att en lokal med fönsterbänk har gynnsam effekt på kallraset från fönstret. Det beror på att fönsterbänken dels uppvärms av takvärmens och dels avlänkar den nedåtgående luftströmmen och därmed blandar in varmare rumsluft.

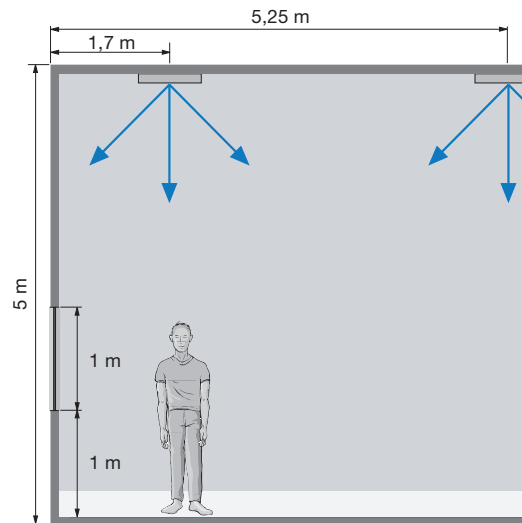
## Beräkningsexempel

Formeln för strålningsvärmeöverföring säger att temperaturdifferensen mellan två ytor spelar relativt stor roll, speciellt som temperaturen anges i Kelvin och upphöjs till fyra. Formeln säger oss också att mer värmestrålning automatiskt går till kallare ytor än till de som är varmare, och det är ju ett förhållande som är idealiskt för ett värmesystem.

I diagrammet här redovisas hur värmestrålningen fördelar sig över en väggyta (yttervägg). Beräkningen av värmeutbytet mellan takvärmarna och väggen har gjorts för varje decimeter av väggen enligt formler i kapitel II och med formler för vinkelfaktorer. Två takvärmare är monterade i taket parallellt med väggen på 1,7 m respektive 5,25 m från väggen. Dessa mått har erhållits från diagrammen som beskriver placeringen av takvärmare i kapitel V. Förhållandena som antas, gäller under en kall vinterdag.

Intressant att notera är att de två panelernas värmestrålning har sitt maximum på olika delar av väggen. Detta beror på att det geometriska förhållandet, d.v.s. vinkelfaktorn, är olika för de två värmepanelerna i förhållande till väggen.

Det framgår också tydligt att fönstret får en stor andel värmestrålning jämfört med väggen intill fönstret. Orsaken till detta är, som nämnts ovan, att fönsterytan är kallare och "suger" därmed åt sig mer strålningsvärme. Det medför att fönsterytan kommer att värmas upp betydligt mer än om rummets värmekälla vore helt konvektiv, t.ex. en fläktluftvärmare. Att fönsterytan värms till ca. +15°C medför att risken för kallras från fönstret väsentligt reduceras.

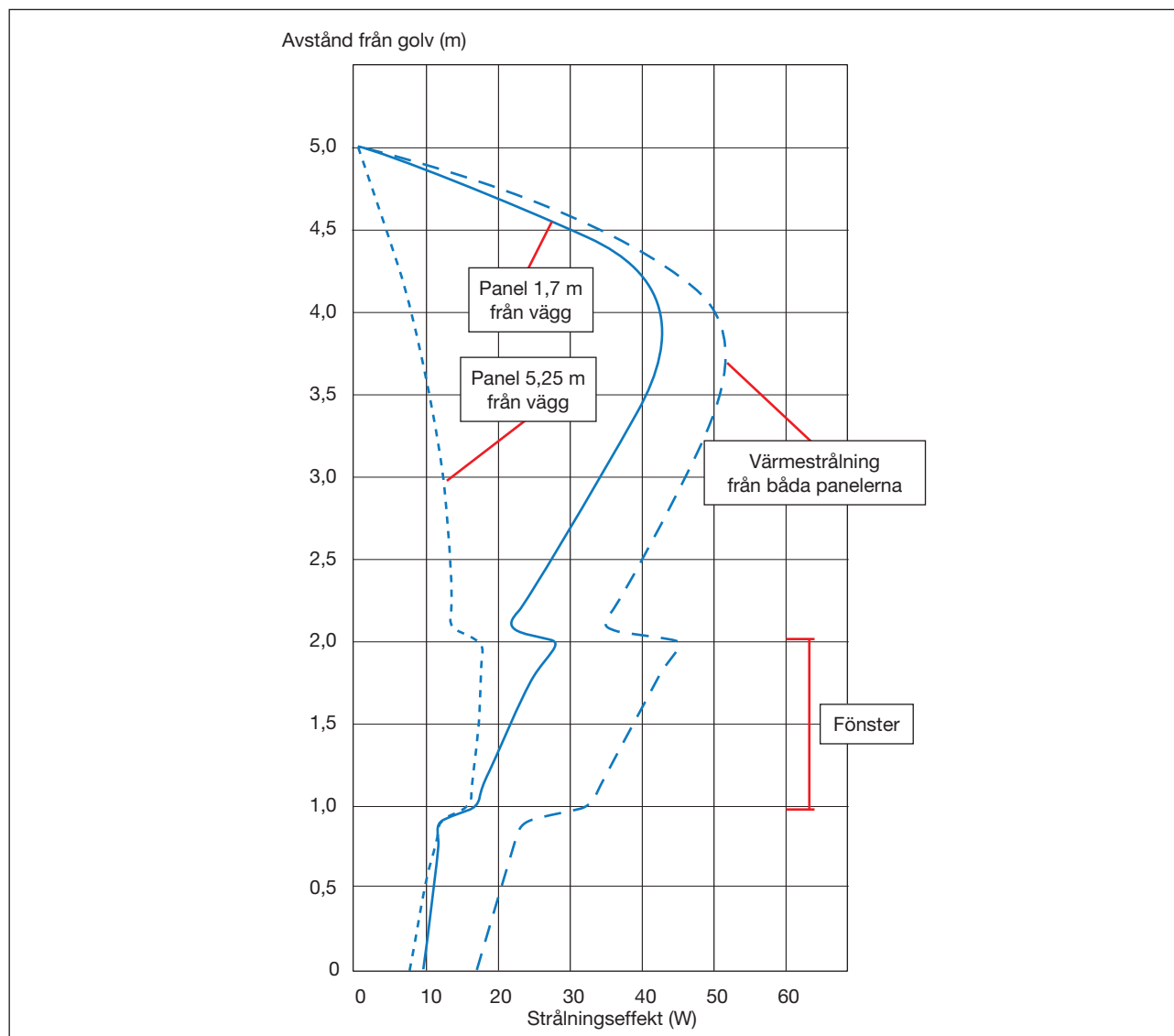


Det antagna rummet i beräkningsexemplet.

Sammanfattningsvis kan konstateras att för tillämpningar av takvärme i byggnader och lokaler gäller:

- Emissionstalet för ytor inomhus är relativt lika, ca. 0,88-0,95.
- Takhöjden spelar ingen roll för överföring av strålningsvärme från takvärmare till övriga ytor.
- Överföringen av strålningsvärme blir automatiskt större om mottagande ytan har en lägre ytemperatur.
- Lufttemperaturen kan normalt sänkas 1-2°C, med bibehållen operativtemperatur, tack vare att omgivande ytor värms upp av takvärmesystemet.
- Det blir små skillnader i lufttemperatur och operativ temperatur under respektive vid sidan av ett bord med takvärme.
- Strålningsvärmen från takpanelen värmer upp insidan på ett fönster så att risken för att kallras skall uppstå minimeras.

# Takvärmehandledningen



Bilden visar hur den överförda värmeeffekten från två paneler fördelar sig på en yttervägg med fönster.

## Följande indata har antagits:

|             |                      |      |
|-------------|----------------------|------|
| Väggen:     | - höjd:              | 5 m  |
|             | - bredd:             | 10 m |
|             | - emissionstal:      | 0,9  |
|             | - yttemperatur:      | 22°C |
| Fönster:    | - bröstningshöjd:    | 1 m  |
|             | - fönsterhöjd:       | 1 m  |
|             | - bredd:             | 10 m |
|             | - emissionstal:      | 0,94 |
|             | - yttemperatur:      | 15°C |
| Takvärmare: | - bredd:             | 1 m  |
|             | - längd:             | 10 m |
|             | - emissionstal:      | 0,95 |
|             | - yttemperatur:      | 40°C |
|             | - installationshöjd: | 5 m  |

# Takvärmehandledningen

## Kapitel III

### Var fungerar en takvärmare bra?

Takvärme har ett mycket brett användningsområde, bredare än de flesta andra uppvärmningsformer. Allmänt kan man säga att takvärme kan användas som uppvärmning i stort i sett alla typer av fastigheter. Mest använd är takvärmen i olika lokaler som t.ex. idrottshallar, verkstäder, industrihallar, lager och köpcentra. Men även i lokaler som barndaghem, vårdlokaler, bostäder, skolor och laboratorier fungerar takvärme utmärkt.

En takvärmarens effektavgivning är ca. 40% konvektivt och ca. 60% strålning. Den konvektiva värmen avges till luften vid taket och bidrar till att täcka transmissionsförluster genom taket. Andelen värme som överförs genom strålning kommer huvudsakligen golv och väggar tillgodo.

När det gäller värmeförlusterna via transmission genom väggar, tak och golv är det normalt för en byggnad att ca. 40% av värme går ut genom taket och ca. 60% genom resten av byggnaden. Därför är takvärme, tillsammans med alla andra fördelar, alldeles utmärkt för uppvärmning av i stort sett alla byggnader. Nedan visas en transmissionsberäkning av en byggnad, och resultatet visar att fördelningen av transmissionsförluster är i storleksordningen som beskrivits ovan.

#### Indata:

|                     |                                       |
|---------------------|---------------------------------------|
| DUT <sub>10</sub> : | 20°C                                  |
| Årsmedeltemp.:      | 6°C                                   |
| U-värde             | Tak: 0,2 W/m <sup>2</sup> , °C        |
|                     | Vägg: 0,2 W/m <sup>2</sup> , °C       |
|                     | Golv, inre: 0,3 W/m <sup>2</sup> , °C |
|                     | Fönster: 2,0 W/m <sup>2</sup> , °C    |
| Area                | Tak: 800 m <sup>2</sup>               |
|                     | Väggar: 600 m <sup>2</sup>            |
|                     | Golv, i: 680 m <sup>2</sup>           |
|                     | Golv, y: 120 m <sup>2</sup>           |
|                     | Fönster: 30 m <sup>2</sup>            |
| Temperaturgradient: | 0,7°C/m                               |
| Takhöjd (medel):    | 5,0 m                                 |
| Längd:              | 40 m                                  |
| Bredd:              | 20 m                                  |
| % Fönsterarea:      | 5% av väggarean                       |
| Inomhustemp.        | Vistelsezon: 18°C                     |
|                     | Medel: 20°C                           |
|                     | Tak: 22°C                             |

#### Utdata:

|                |                 |      |
|----------------|-----------------|------|
| Effektbehov:   | Tak: 6640 W     | 38%  |
| (transmission) | Väggar: 4770 W  | 28%  |
|                | Golv, i: 2448 W | 14%  |
|                | Golv, y: 2448 W | 7%   |
|                | Fönster: 2280 W | 13%  |
|                | Totalt: 17278 W | 100% |

# Takvärmehandledningen

## Kapitel IV

### Konstruktionskrav på en takvärmare

Konstruktioner och tekniska lösningar på takvärmare skiljer sig åt mellan olika tillverkare. Kraven på en bra fungerande takvärmare är dock de samma och kommer till stor del från de fysikaliska lagar som styr värmeöverföring.

#### Grundläggande krav på en takvärmare

Ett av de viktigaste kraven man bör ställa på en takvärmare är att temperaturen skall vara så jämn som möjligt över dess yta. Härigenom uppnås en maximal effektavgivning per ytenhet. Om man har en vattentemperatur på ett värmesystem på t.ex. 55-45°C eller 60-40°C, d.v.s. en medelvattentemperatur på 50°C  $(55+45)/2$ , så är önskan att temperaturen på produktens hela yta också skall uppgå till 50°C. Detta är dock en praktisk och även teoretisk omöjlighet (det skulle kräva oändlig värmekonduktivitet) eftersom värmeförluster kommer att ske på vägen från vattnet i röret till ytan på produkten. Målsättningen blir därför att minska dessa värmeförluster i så hög utsträckning som möjligt. Nedan skall vi gå igenom hur denna målsättning kan optimeras samt hur andra krav kan tillgodoses.

#### Hur skall en bra konstruerad takvärmare se ut?

Det finns ett flertal bedömningsgrunder för kvalitet, funktion och livslängd för en takvärmare. Dessa är:

1. Materialval
2. Hur effektiv är förbindningen/kontakten mellan rör och fläns
3. Optimering av takvärmaren; värmeeffekt/kostnad
4. Hur väl testad är produkten
5. Hur enkel är produkten att montera
6. Flexibilitet
7. Finish
8. Strukturen på produkten

Den grundläggande principen för alla vattenburna takvärmeprodukter är helt identisk. Den grundar sig på ett vattenförande rör och en strålningsyta (fläns). Röret skall sedan förbindas till flänsen på så sätt att värmen från vattnet leds genom rörväggen till flänsen (Se bild 1). Temperaturen på flänsen ökar och man uppnår en värmestrålning från produkten. För att nå avsedd effekt i lokalen är takvärmaren isolerad på ovansidan så att onödig värmestrålning hindras från att nå takytan.

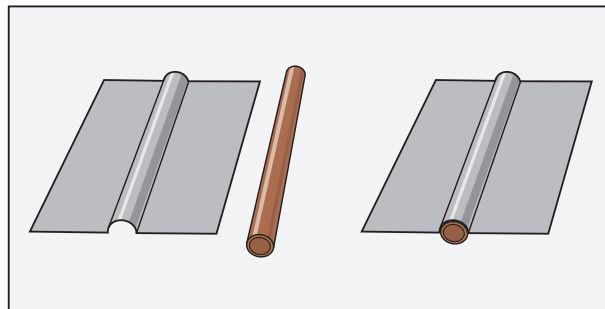


Bild 1. Grundläggande element i en takvärmare.

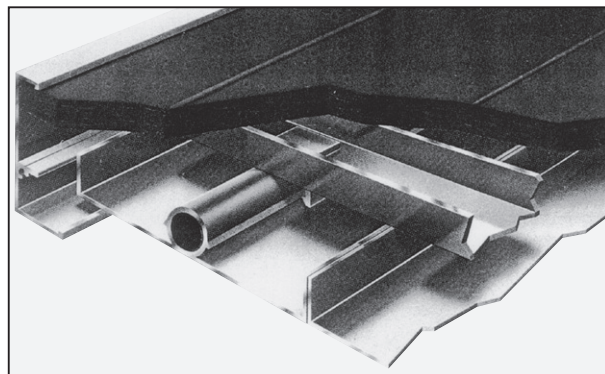


Bild 2. Röret expanderat inuti en aluminiumprofil.

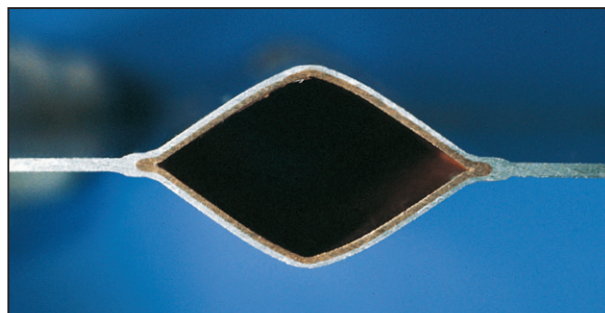


Bild 3. Genomsnitt av Lindab Comforts grundelement. Kopparröret och aluminiumflänsen är metallurgiskt förbundna genom Lindab Comforts världspatent.

### 1. Materialval

Materialvalet blir av avgörande betydelse för värmeeffekten och produktens livslängd. I Skandinavien används idag enbart aluminium som material i flänsen. Detta beror på att aluminium leder värme mycket effektivt samtidigt som vikten på produkten blir låg. Materialet i rören består av antingen stål eller koppar. Fördelen med att använda kopparrör är flera:

- Korrosionsrisken är betydligt lägre jämfört med rör i stål
- Vikten på produkten minskar och materialutvidgningen (se nästa sida) blir jämnare.
- Man får också en betydligt enklare montering genom att använda kopparrör.



# Takvärmehandledningen

## 2. Förbindning mellan rör och fläns

När materialvalet är gjort skall man sammanbinda rör och fläns för att erhålla en så bra kontakt/förbindning som möjligt mellan dessa. Hur väl utförd förbindningen mellan rör och fläns är gjord påverkar i mycket hög grad hur väl en värmestrålare kommer att fungera. Idag används tre sätt för att konstruera denna förbindning.

1. Genom olika metoder skruvar, svetsar, klämmer eller snäpper man ihop de båda ytorna med varandra (se bild 1 på föregående sida).
2. Inuti en aluminiumprofil, formad som ett rör och fläns i en enhet, förs ett rör in som vanligtvis är av koppar. Röret expanderas sedan i profilen för att uppnå en god kontakt mellan de olika materialen.  
Se bild 2 på föregående sida.
3. Här sammanvalsas under ett mycket högt tryck (ca 50 ton) ett kopparrör med en aluminium fläns och bildar på detta sätt en enda enhet. Kopparröret blåses sedan upp till normal storlek och får då en rombisk form (se bild 3 på föregående sida).

De två förstnämnda konstruktionernas förbindningar mellan rör och fläns blir alltså helt mekanisk. Det är inte svårt att föreställa sig att en förbindning gjord på mekanisk väg inte ger upphov till en optimal värmeöverföring. Ett flertal experiment med sådana lösningar, ref. [14], visar på betydande effektförluster – inte minst efter en längre tids användning. Den sistnämnda ger en metallurgisk bindning (materialen blandas delvis genom en molekylär förbindning).

Skall man kvalitetsbestämma dessa konstruktioner kan man säga att de två sistnämnda är bra lösningar om de är korrekt utförda. Den första lösningen är en betydligt sämre konstruktion av flera orsaker. Framför allt har detta att göra med att olika material utvidgas/ expanderar olika mycket när de utsätts för värmepåverkan. Skillnaden i expansion mellan stål och aluminium är betydligt större än skillnaden i expansion mellan koppar och aluminium. Vad som händer är att aluminiumplåten "reser" sig från stålröret med följd att kontakten mellan rör och fläns försämras, eller om man så vill – värmeeffekten från produkten minskar. Dessutom blir dessa typer av konstruktioner känsliga för hur produkten behandlas i produktionen, leveransen och vid monteringen.

Även här kan kontakten mellan rör och fläns minska vid ovarsam hantering.

En metallurgisk förbindning (konstruktion nr. 3) ger de flesta fördelarna. Materialutvidgningen blir helt jämn, risken för korrosion är minimerad och det går inte att försämra kontakten mellan rör och fläns p.g.a. hantering i samband med produktion, transport eller montering.

Expansionskoefficienter för olika material:

|           |    |
|-----------|----|
| Aluminium | 24 |
| Koppar    | 16 |
| Stål      | 12 |

Av detta framgår att det är direkt tekniskt fel att på mekanisk väg förbinda de olika metallerna eftersom detta leder till effektförluster i produkten. Detta under förutsättning att den punktvisa kontakten mellan rör och fläns inte är oändligt många räknat i antal kontaktpunkter. Är den punktvisa förbindningen utförd med för långt avstånd kommer aluminiumplåten (strålningsytan) att resa sig från stål- eller kopparröret, vilket i sin tur ger upphov till effektförluster. Att mekaniskt förbinda ett stålrör med en aluminiumplåt ger givetvis den sämsta termiska kontakten.

### Exempel:

Förutsättning: Ett stålrör förbinds mekaniskt (punktvis) varje meter med en aluminiumfläns.

|      |         |
|------|---------|
| VS:  | 80/60°C |
| Rum: | 20°C    |

Resultat: Aluminiumflänsen kommer att resa sig 0,6 mm från stålröret d.v.s. kontakten kommer enbart att bli punktvis och också bli det enda ställe på produkten där en effektiv värmeöverföring kommer att ske.

### Galvanisk korrosion

Denna problematik blir mer aktuell i ett kylfall vid användandet av kyltak där man riskerar kondensering vid vissa tillfällen på året. Det kan dock bli aktuellt i värmefallet vid hög fukthalt i luften i lokalen eller där man behöver renspola produkterna i synnerhet när dessa inte är utsatta för värmepåverkan. För att utröna hur stor risken är i dessa fall kan man se i tabellen på nästa sida.

# Takvärmehandledningen

|                                | Standardpotentialserier<br>relativt normalvätsgas-<br>elektroden | Me/Me <sup>n+</sup>                                      | Galvanisk serie i 3-procentig<br>NaCl relativt normalvätsgas-<br>elektroden | Me/Me <sub>Z</sub> , pH7 |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Pt/Pt <sup>2+</sup>            | +1,20V                                                           | +0,57/Pt/PtO                                             | Pt +0,47V                                                                   |                          |
| Ag/Ag <sup>+</sup>             | +0,80V                                                           | +0,22(Ag/AgCl)                                           | Ti +0,37V                                                                   |                          |
| Cu/Cu <sup>2+</sup>            | +0,34V                                                           | +0,05(Cu/Cu <sub>2</sub> O)                              | Ag +0,30V                                                                   |                          |
| H <sub>2</sub> /H <sup>+</sup> | ±0,00V                                                           | -0,414(H <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O)                 | Cu +0,04V                                                                   |                          |
| Pb/Pb <sup>2+</sup>            | -0,13V                                                           | -0,27(Pb/PbCl <sub>2</sub> )                             | Ni -0,03V                                                                   |                          |
| Ni/Ni <sup>2+</sup>            | -0,25V                                                           | -0,30(Ni/NiO)                                            | Pb -0,27V                                                                   |                          |
| Fe/Fe <sup>2+</sup>            | -0,44V                                                           | -0,46(Fe/FeO)                                            | Fe -0,40V                                                                   |                          |
| Zn/Zn <sup>2+</sup>            | -0,76V                                                           | -0,83(Zn/ZnO)                                            | Al -0,53V                                                                   |                          |
| Ti/Ti <sup>2+</sup>            | -1,63V                                                           | -0,50(Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> ) | Zn -0,76V                                                                   |                          |
| Al/Al <sup>3+</sup>            | -1,67V                                                           | -1,90(Al/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )                |                                                                             |                          |

Standardpotentialserier (elektrokemiska spänningsserier) och galvanisk serie för några vanliga metaller.

Galvanisk korrosion uppstår p.g.a. sammankopplingen av två metaller med olika elektropotential. Vad som händer är att det utfälls aluminiumhydroxid (ser ung. ut som mjöl) på aluminiumet närmast röret. Denna beläggning hindrar då effektivt värmen från att nå ut från röret till flänsen (strålningsytan) vilket i sin tur ger upphov till en effektförlust på takvärmaren. Förutsättningen för denna process är att det lyckas tränga in fukt mellan de olika materialen.

Av tabellen framgår det att man definitivt bör undvika mekaniska förbindningar mellan koppar och aluminium men även mellan stål och aluminium.

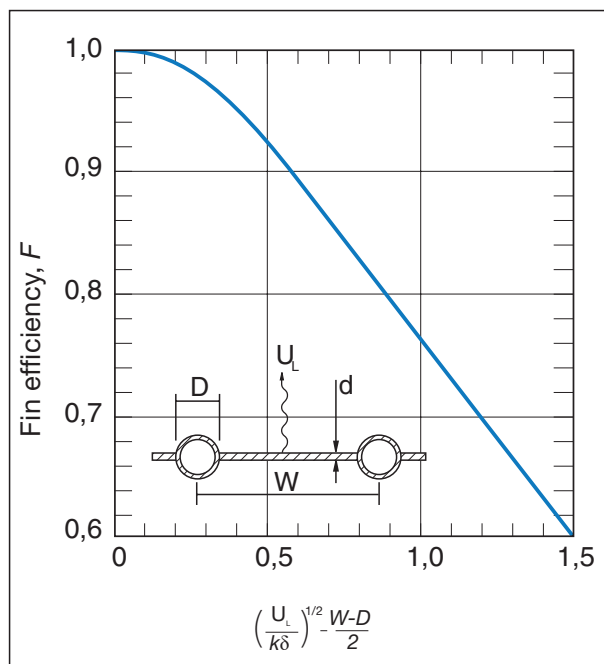
I vissa typer av lokaler där man förväntar sig en hög fuktighetshalt vissa perioder, eller i de fall man av hygieniska skäl önskar att rensola produkterna, bör man undvika produkter med en mekanisk kontakt (konstruktion 1). Lyckas det tränga in fukt mellan kopparröret/stålröret och aluminiumflänsen är det risk för galvanisk korrosion.

### 3. Optimering av takvärmaren

Hur väl värmeöverföringen mellan rör och fläns är samt hur väl flänsen förmår att leda ut värmen kan beskrivas med begreppet flänsverkningsgrad. Flänsverkningsgraden är ett mått som beskriver förlusten i värmeöverföring i en fläns p.g.a. ojämnheter i effektfördelningen över flänsens yta.

Denna flänsverkningsgrad går att teoretiskt räkna ut. Detta gör att man genom detta också kan optimera flänstjocklek, c/c avstånd mellan rörraderna, ingående material och rördiameter.

Observera! Diagrammet gäller vid perfekt (homogen) kontakt mellan rör och fläns.



Flänsverkningsgrad för rör och fläns i homogen kontakt.

D: Rördiameter, yttre.

d: Flänstjocklek

w: c/c avstånd rörrader

$U_L$ : Värmebelastning totalt per ytenhet  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$  – är ca. 11 vid frihängande montage

k: Värmeledningsförmåga (Värmeledningstal)

Av formeln framgår att en ökad flänsverkningsgrad kan uppnås genom:

1. Att använda material med hög värmeledningsförmåga.
2. Tjockare fläns.
3. Ökning av rördiametern (uttrycket för flänsverkningsgraden tar dock inte hänsyn till att en ökning av rördiametern sänker Reynolds tal och ökar risken för omslag till laminär strömning vilket avsevärt skulle försämra värmeövergången mellan vattnet och rörväggen).
4. Att minska c/c avstånd mellan rörraderna.

# Takvärmehandledningen

## Värmeledningsförmåga

För att besvara punkt 1 i förra stycket behöver man veta värmekonduktiviteten för de metaller som kan bli aktuella.

| Material  | Värmekonduktivitet (W/m K) |
|-----------|----------------------------|
| Aluminium | 218                        |
| Koppar    | 385                        |
| Stål      | 84                         |
| Silver    | 420                        |
| Guld      | 300                        |
| Tenn      | 65                         |
| Nickel    | 88                         |

Vissa av dessa metaller kan man direkt bortse från av kostnadsskäl. De metaller som kan bli aktuella i flänsen är som tidigare nämnts – aluminium, koppar eller stål. Orsaken till att man väljer aluminium framgår av nedanstående tabell.

| Material/Egenskap | Vikt  | Hållfasthet          |
|-------------------|-------|----------------------|
| Aluminium         | 1 kg* | 1 N/m <sup>2</sup>   |
| Koppar            | 2 kg  | 0,6 N/m <sup>2</sup> |
| Stål              | 4 kg* | 6 N/m <sup>2</sup>   |

\*) Index = 1 för Al. Tabellen gäller för att uppnå samma flänsverkningsgrad d.v.s. vid kompenserad flänstjocklek.

En ytterligare anledning att använda aluminium är att denna har en mycket god yttre korrosionsbeständighet.

Några exempel:

Hur påverkas flänstjockleken om man använder koppar respektive stål istället för aluminium och om man håller flänsverkningsgraden konstant?

Koppar: Flänstjockleken kan i stort sett halveras för att uppnå samma verkningsgrad.

Stål: Flänstjockleken behöver öka med en faktor 2,5.

## Rördelning

Rördelningen har betydelse för den värmeeffekt man uppnår på produkten. Ju tätare rördelning desto jämnare yttemperatur och därmed högre effekt, eller om man så vill, desto mindre värmeyta behöver man installera i lokalen. Det mest optimala för värmeavgivningen skulle m.a.o. vara att enbart installera varma rör i taket. Av kostnadsskäl, material + installation, låter sig detta inte göras. Det gäller istället att räkna ut vilken rördelning som är optimal utan att förlora för mycket värmeeffekt.

## 4. Hur väl testad är produkten?

I de fall produkten är testad av oberoende testinstitut kan man få klara bevis för produktens kvalitet och livslängd. Lindab Comforts takvärmare har genomgått många extrema tester. Här följer ett urval av dessa:

1. Produkterna har legat oskyddade utomhus under tio års tid (då i egenskap av solfångare) för att konstatera ev. korrosionsrisker.
2. Expansionstester. Man har vid upprepade tillfällen utsatt ytorna för 200°C temperatur och sedan chockat ytorna med 10°C vatten för att se om skillnaden i expansion mellan kopparröret och aluminiumflänsen påverkar produkten.
3. Trycktester. Under 5.000 cykler har man trycktestat produkterna med ett tryck av 10-12 bar för att utröna materialutmattning och upptäcka ev. sprickbildningar i konstruktionen.

De två sistnämnda testerna är utförda vid Statens Provningsanstalt. Inte i något fall har man kunnat upptäcka några som helst kvalitetsförsämringar på produkten.

## 5. Enkelhet vid montering

Kan man tillverka en produkt med låg vikt som samtidigt är stabil till sin konstruktion kommer man att få en lägre totalkostnad (produktpris + installationskostnad) än vad som annars är fallet. Materialvalet blir återigen avgörande för hur väl man lyckas, men även produktens uppbyggnad och sammansättning får givetvis betydelse. En låg vikt ger också fördelar i form av en lägre belastning på takkonstruktionen.

## 6. Flexibilitet

Med flexibilitet menas hur väl produkten kan anpassas efter nya indelningar i den befintliga lokalen. Flexibiliteten får stor betydelse för fastighetsägare som under byggnadens livstid kommer att hyra ut den till flera hyresgäster eller där förändringar i lokalens layout kan komma att ske. Klimatsystemet skall inte sätta begränsningar för vilken typ av verksamhet lokalen är tänkt att användas för. Har lokalen använts som lager skall inte klimatsystemet vara ett hinder för att förändra lokalen för att passa en tillverkande industri där man exempelvis vill förankra maskiner i golvet. Produkterna skall enkelt kunna flyttas i taket och omfördelas där man bäst behöver dem. En förutsättning för detta är prefabricerade enheter som är enkla att ansluta och sammankoppla.

# Takvärmehandledningen

## 7. Finishen på produkten

När det gäller finishen får främst ytbehandlingen betydelse. En automatiserad produktion med ett väl utfört förarbete tillsammans med en brännlackerad yta ger en hög kvalitet på finishen.

## 8. Strukturen på produkten

För att erhålla avsedd effekt från takvärmaren skall ytan vara slät för att förhindra onödiga lufterörelser (konvektion). Andelen strålning skall ju vara så hög som möjligt för att nå avsedd effekt – både komfortmässigt och ur driftskostnadssynpunkt. Isoleringen på ovansidan skall vara så bra att värmeeffekten koncentreras till undersidan av takvärmaren.

### Produkter i helaluminium

Dessa typer av produkter där både röret och flänsen är av aluminium är sällan förekommande. Detta beror på den uppenbara korrosionsrisken som uppträder när vatten leds i ett aluminiumrör.

Korrosionen benämns gropfrätning eller punktfrätning och uppkommer alltid och mycket fort, när vatten leds i aluminium, man räknar läckagerisken i dagar. För att häva denna typ av korrosion tillsätter man i vattnet s.k. inhibitorer, d.v.s. olika typer av kemikalier för att bromsa korrosionsförloppet. Problemet med inhibitorerna är att de kontinuerligt förbrukas och därför måste man också lika kontinuerligt tillsätta nya för att häva korrosionsrisken. Om halten av inhibitorer blir alltför låg kan inhibitorn göra mer skada än nytta, d.v.s. påskynda korrosionsprocessen.

# Takvärmehandledningen

## Kapitel V

### Placering av takvärmare

Grundregeln vid placering av takvärmare i ett rum eller en lokal är att fördelningen av takpaneler bör vara så jämn som möjligt. Panelerna bör dessutom placeras i förhållande till de omgivande ytornas värmeförluster, d.v.s. en större andel värmeavgivande yta bör läggas vid fasad- och fönsterytor för att dels täcka värmeförlusterna och dels värma upp fönsterytorna för att motverka eventuell kallras.

Vid val av ventilationssystem eller placering av luftdon behöver ingen hänsyn tas till takvärmesystemet. Takvärmen ger i sig inte upphov till några luftrörelser. Ref. [10] och [11] har undersökt luftrörelser i rum med takvärme. I sammanfattning gavs resultatet att det förekommer ytterst små luftrörelser i dessa rum. Det är endast i närheten av en kall yttervägg som lufthastigheter överstigande 0,03 m/s kan registreras. De lufthastigheter som normalt förekommer i ett rum, 0,1-0,2 m/s, orsakas av ventilation och konvektiva luftrörelser vid människor och varma apparater.

Här intill ges anvisningar för hur en ideal placering av värmepanelerna bör vara. I verkligheten finns det dock ofta hinder för att placera takvärmarna idealt. Det kan vara takbalkar eller andra konstruktioner i taket, belysningsarmaturer eller andra installationer som lägger hinder i vägen. Dessutom kan man spara på kostnader för rördragning genom att förenkla fördelningen av värmepaneler och därmed ej uppnå en ideal placering.

Det är då viktigt att påpeka att anvisningarna nedan är rekommenderade värden. Går det ej av praktiska skäl att uppnå rekommenderade värden, och avvikelser från dessa är stor, bör dock en kontakt tas med oss för att kontrollera att det inte blir några problem.

Är avvikelser mindre går det sannolikt bra i de flesta fallen. Människan är inte så känslig att den upplever obehag vid de små skillnader i värmestrålning som skulle uppstå om den rekommenderade delningen inte kan uppnås.

Följande tumregler bör man eftersträva att följa för att erhålla en så jämn fördelning av värmestrålningen som möjligt.

#### **Mot yttervägg utan fönster bör panelen närmast väggen läggas enligt följande:**

Med angivet avstånd från yttervägg vid olika takhöjder erhålls en fördelning av värmestrålningen på ca. 60-70% mot ytterväggen och ca. 30-40% mot golvet vilket motsvarar den ungefärliga fördelningen av transmissionsförluster längs en yttervägg och yttre och inre randzon på golv som täcks av en takvärmepanel/värmestrips. Strips eller paneler behöver normalt sett inte vinklas för att rikta värmestrålningen mot t.ex. yttervägg. Normal delning mellan takvärmarna enligt nedan förutsätts.

**Mot en yttervägg med fönster:** Om ytterväggen innehåller normala eller stora glasytor kan panelerna läggas närmare väggen.

En förtätning av värmeeffekten bör göras för att minska risken för eventuellt kallras och för att uppnå erforderligt värde på operativtemperatur. Vid mindre fönster behöver en förtätning sällan ske. Tumregler är svåra att ge i dessa fall då variationer i fönsterstorlekar och byggnadsutformning är stora.

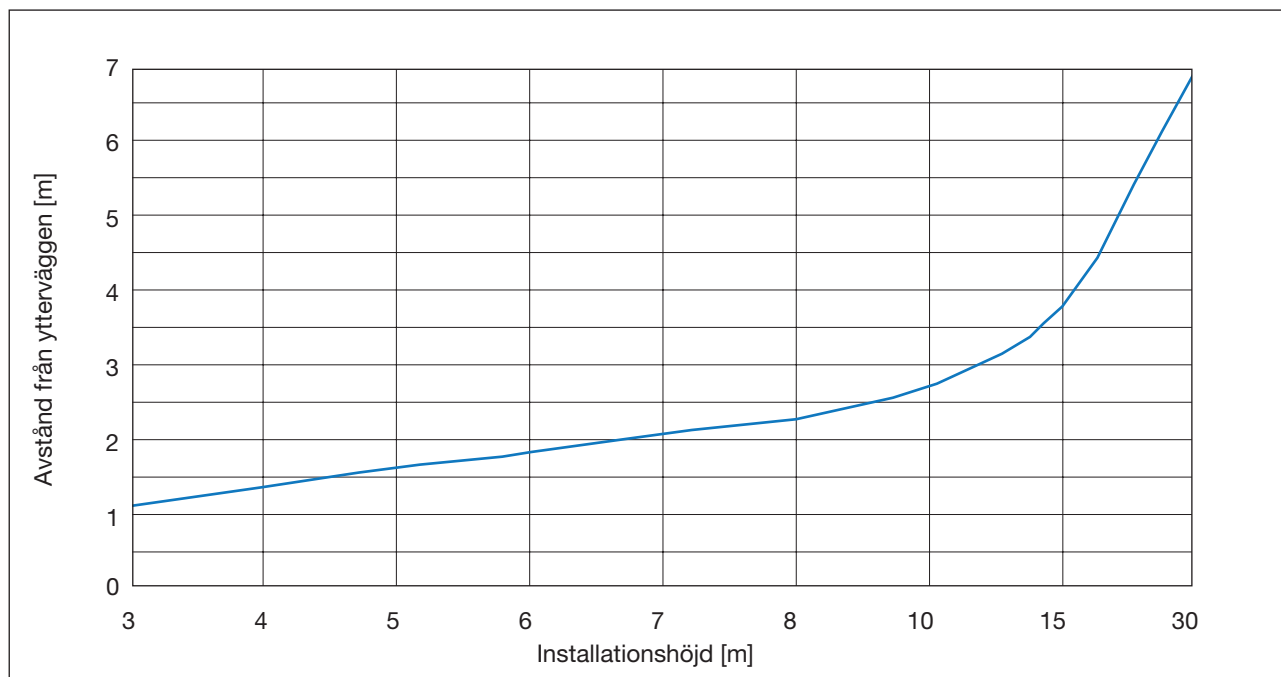
Delning mellan paneler/strips framgår av nedanstående diagram. I diagrammet är rekommenderade delningar mellan paneler/strips presenterade som funktion av installationshöjden. Med rekommenderad delning erhålls en värmestrålning som är lika stor mitt emellan takvärmarna som mitt under dem, d.v.s. värmestrålningen blir så jämnt fördelad som möjligt.



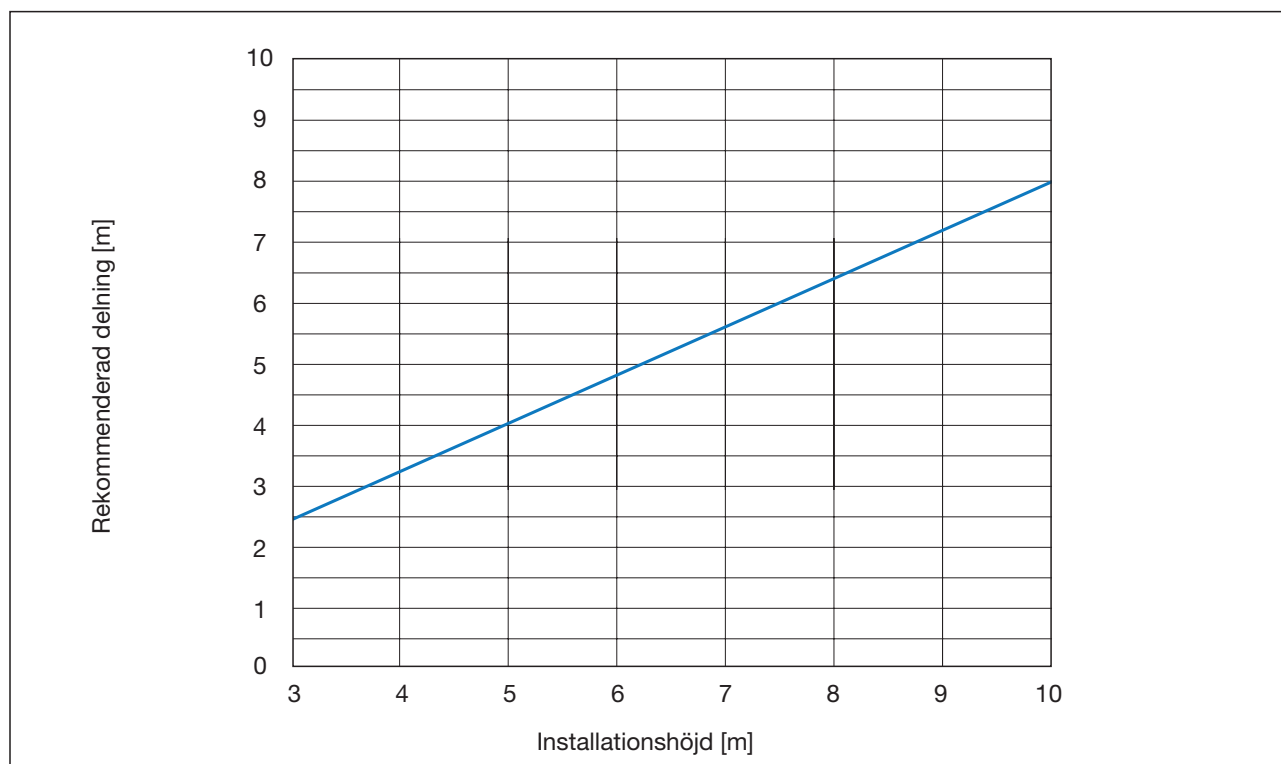
# Takvärmehandledningen

## Kapitel V

### Placering av takvärmare



Rekommenderat avstånd mellan takvärmaren närmast yttervägg och yttervägg (utan fönster).



Rekommenderat avstånd mellan paneler vid takvärme.

# Takvärmehandledningen

## Kapitel VI

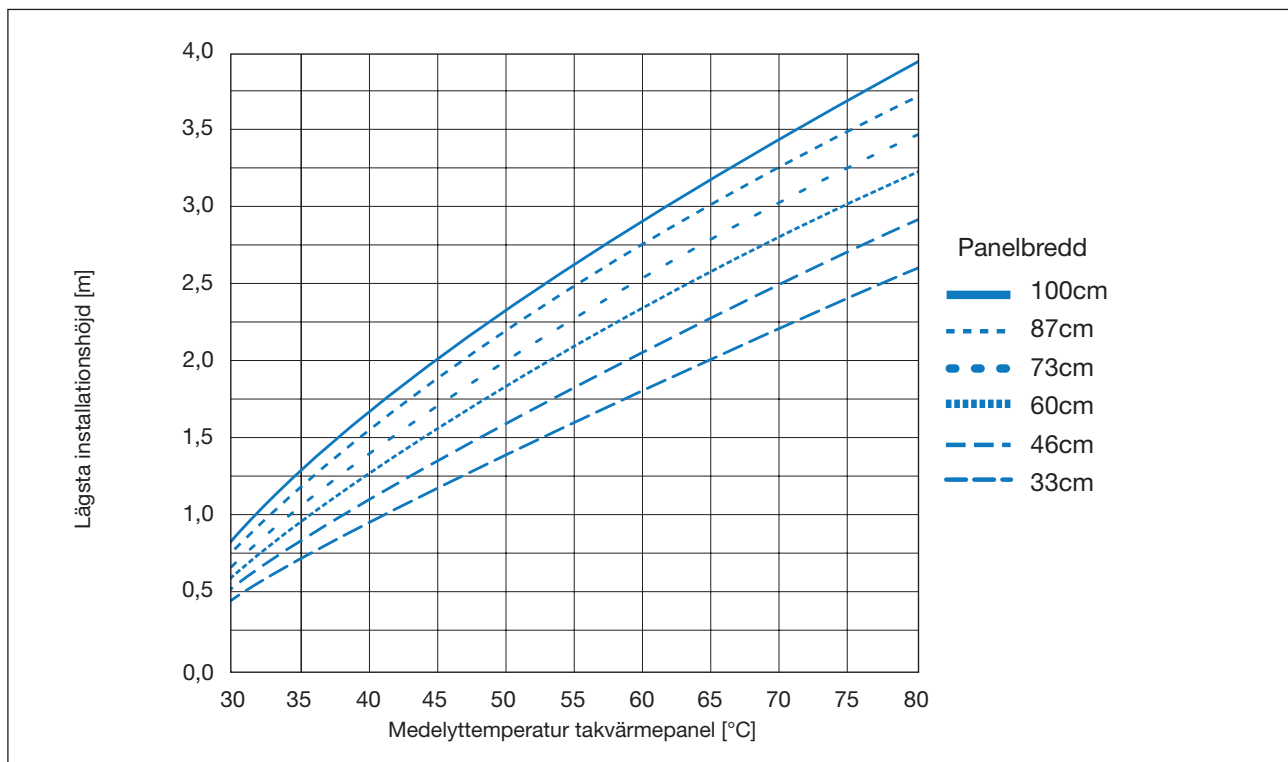
### Temperatur och erforderlig installationshöjd

Temperaturen på takvärmarna, d.v.s. temperaturen i värmesystemet, påverkar effektavgivningen, vilket vi tar upp i kapitel VII, men det påverkar också upplevelsen av värmen från takvärmarna. Frågan "Blir det för varmt på huvudet?" är vanlig. I detta kapitel går vi igenom förutsättningarna för hur takvärmarens temperatur och installationshöjd påverkar klimatupplevelsen.

Det är bl.a. byggnadens installationer och värmekälla, antal och storlek på takpaneler, takhöjd, strålnings-temperaturasymmetri och operativ temperatur som påverkas av eller påverkar temperaturnivån. Det är i sammanhanget viktigt att påpeka att det inte behövs högre temperaturnivå i värmesystemet ju högre takhöjden är. Orsaken till detta redovisas i kapitel II.

Oftast utgår man från en vald temperaturnivå och bestämmer sedan, precis som för konventionella värmesystem, antal och storlek på takvärmepanelerna för att täcka det dimensionerande värmeeffektbehovet (se kapitel VII). Antal och storlekar skall givetvis kombineras så att takvärmepanelerna fördelas på lokalens yta (se kapitel V). Dessutom skall strålnings-temperaturasymmetri och riktad operativ temperatur kontrolleras om dessa värden är föreskrivna.

När fördelningen av takpaneler är gjord baserat på värmeeffektbehovet, lokalens geometri och med hänsyn till inredning och övriga installationer bör en kontroll av strålnings-temperaturasymmetrin (STA) göras. STA definieras som skillnaden i plan strålnings-temperatur på ömse sidor om en liten plan yta (se även kapitel I). Plan strålnings-temperatur beräknas med hjälp av uppmätta yttemperaturer och vinkelfaktorer eller mäts med en strålnings-temperaturmätare. STA mäts i ett plan 0,6 m över golv vid sittande aktivitet eller 1,1 m över golv vid stående aktivitet. Svenska Inneklimatinstitutet, ref. [8], samt ISO-normen 7730 anger STA till maximalt 5°C vid takvärme.



Lägsta installationshöjd för takvärmare vid strålnings-temperaturasymmetri på 5°C. Takvärmarens längd 3,6 m.

# Takvärmehandledningen

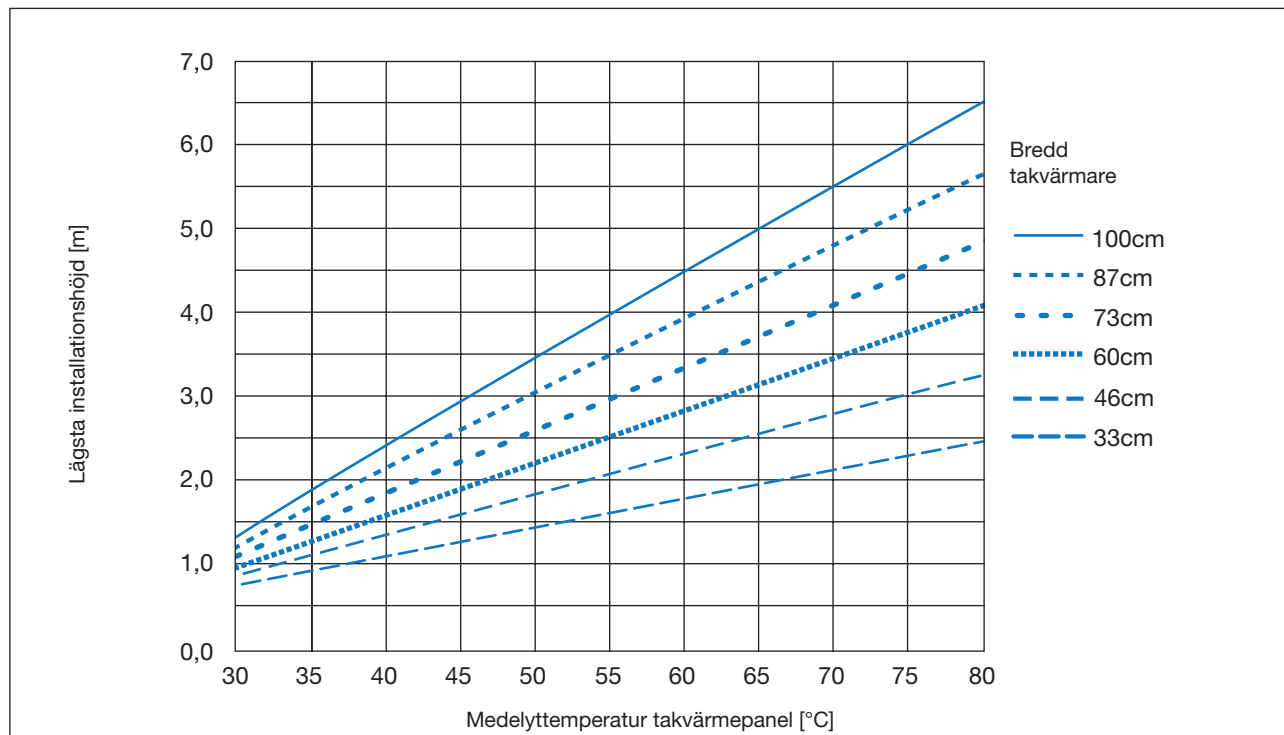
STA beräknas normalt rakt under en takvärmare och beror på installationshöjden, ytemperaturen och storleken på takvärmaren samt på övriga omgivande ytors temperaturer. För att undvika omfattande beräkningsarbete redovisas nedan diagram som anger lägsta tillåtna installationshöjd för att STA inte skall överstiga 5°C. De olika kurvorna anger olika bredd på takpanelerna. De olika diagrammen gäller för olika längder på takpaneler (3,6 m och 10 m). Vid presentationen av dessa kurvor gäller som förutsättning att alla övriga omgivande ytor antas ha samma temperatur.

Så är sällan fallet i verkligheten. STA kommer i det flesta fall vara gynnsammare. Normalt finns ett eller flera kalla fönster och golvet är oftast varmare än omgivande väggar vid takvärme. Detta gör emellertid att STA minskar då fönstret/ena oftast befinner sig över mätplanet och därmed kompenserar för det varma takpanelerna. Det varma golvet bidrar också till att höja den plana strålningstemperaturen under mätplanet vilket minskar STA. Sammantaget kommer STA att vara mindre än 5°C om takvärmarna installeras på den höjd som anges i diagrammen. Det är i sammanhanget viktigt att påpeka att vi talar om dimensionerande värmetemperaturer som, statistiskt, inträffar några enstaka dagar per år. Under större delen av året är STA vid takvärme mindre än 5°C.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att ju mindre yta (kortare och/eller smalare) panelerna har desto lägre kan de monteras utan att överskrida angiven strålningstemperatursymmetri.

I ref. [1] gjordes hudtemperaturmätningar och registrering av upplevd komfort hos 15 försökspersoner vid vistelse i rum med takvärme. Sammanfattningsvis kan man konstatera att man inte kunde uppmäta någon större skillnad i hudtemperatur på huvud jämfört med övriga kroppen än vad som är normalt. Vad gäller komfortupplevelsen så fanns det små skillnader i komfortangivelsen mellan huvud och fötter. Skillnaden var dock inte större än andra värmesystem skulle ge upphov till.

Vid egna mätningar av strålningstemperatursymmetri har värdena hamnat mellan 1,0-5,5°C i olika lokaler, t.ex. skola, barndaghem, bilhall, kontor och industrilokal. De flesta värdena ligger runt 2-3°C. Det högre värdet (5,5°C) uppmättes i en verkstad med port som öppnades frekvent och därmed sänkte golvtemperaturen.



Lägsta installationshöjd för takvärmare vid strålningstemperatursymmetri på 5°C. Takvärmarens längd >10 m.

# Takvärmehandledningen

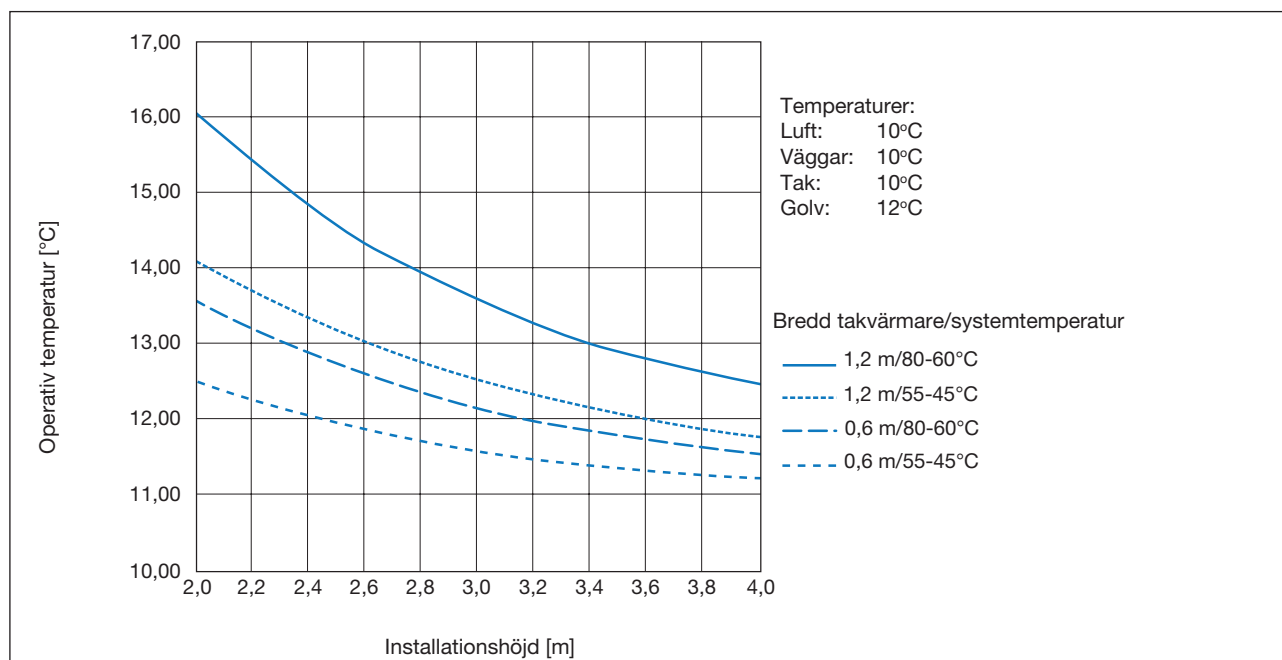
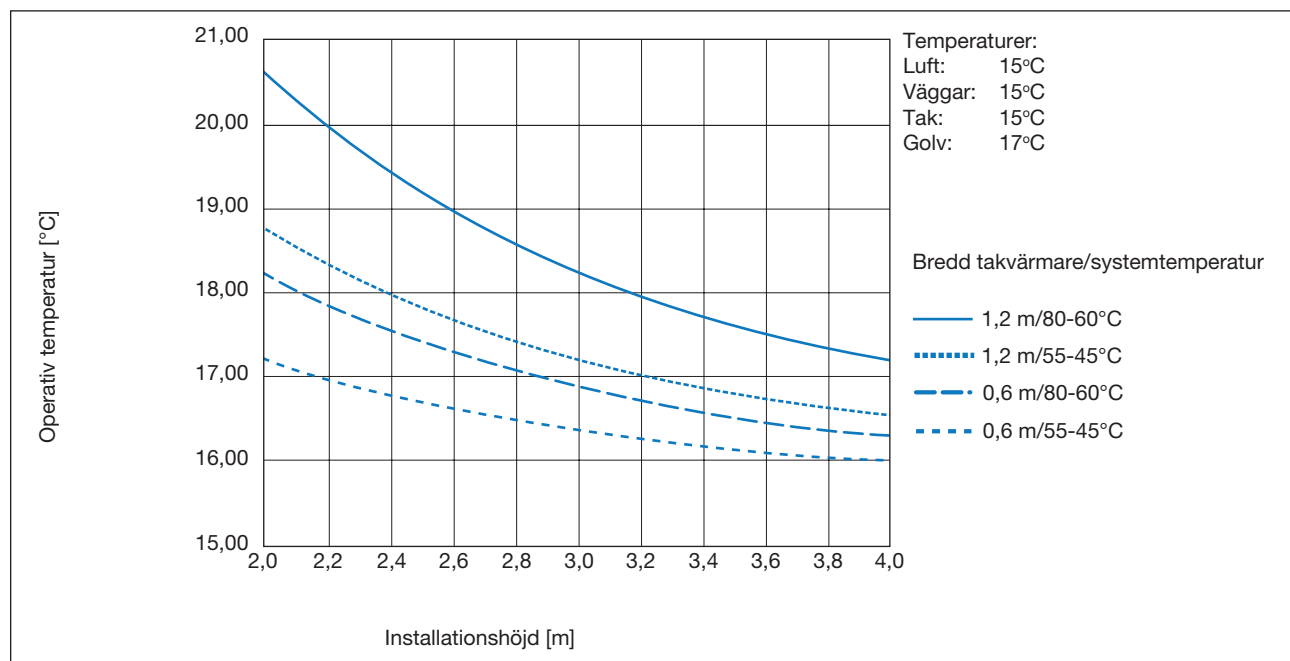
## Zonuppvärmning

Takvärme har en speciell fördel vid uppvärmning av en del eller en zon i en lokal. Då kan man hålla en låg lufttemperatur i lokalen och lokalt höja den operativa temperaturen på den plats där människor arbetar/vistas. Den högre temperaturen på dels takvärmaren och dels uppvärmningen av golvet medför att den operativa temperaturen kan höjas en bra bit över lufttemperaturen.

I diagrammen nedan redovisas den operativa temperaturen som funktion av installationshöjden.

De visar fall med lufttemperatur på 10 respektive 15°C. Väggar och tak antas ha samma temperatur som luften medan golvet värms upp till en temperatur på ca. 2°C över lufttemperaturen. De olika kurvorna representerar 0,6 m resp 1,2 m bredd på takvärmaren vid två olika systemtemperaturer, 55/45 resp 80/60°C.

## Operativ temperatur vid zonuppvärmning



# Takvärmehandledningen

## Kapitel VII

### Effekt och energi

Vid beräkning av dimensionerande värmeeffektbehovet beräknas som tidigare nämnts först byggnadens olika byggnadsdelar vad gäller area och värmegenomgångstal,  $U_p$ -värde, och därefter  $U_{medel}$ . Detta beräknas på normalt sätt enligt gällande byggregler BBR 94, Värmeisolering (Boverket) och Svensk Standard (SS 02 42 02 och SS 02 42 30).

När sedan dimensionerande utetemperatur (DUT) skall bestämmas bör metoden beskriven i Svensk Standard (SS 02 43 10) användas för att undvika att värmesystemet överdimensioneras. Metoden bygger på att man tar hänsyn till rummets/byggnadens individuella tidskonstant, d.v.s. värmelagringsförmåga, och på så sätt räknar ut en DUT för varje byggnad eller rum.

När man beräknar värmeeffektbehovet i en ny byggnad kan man normalt anta en till två grader lägre inomhus-temperatur för takvärme än normalt. Denna sänkning är dock endast ett erfarenhetsvärde och vid projektering bör kontroller göras på känsliga delar av byggnaden vad

avser operativtemperaturer eller andra föreskrivna klimatfaktorer som är temperaturberoende. Att en temperatur-sänkning normalt sett är möjlig beror som tidigare nämnts på att värmestrålningen från taket värmer upp omgivande ytor som t.ex. golv, väggar och inredning. Människan upplever då att värmeutstrålningen från kroppen minskar, och för att behålla rätt komfort kan rumsluftens temperatur sänkas ungefär lika mycket som omgivande ytors medeltemperatur har höjts. Detta gäller under förutsättning att övriga klimatfaktorer hålls på en konstant nivå och att lufthastigheten inte överskrider 0,15 m/s.

Så fort man inför en värmekälla i ett rum och håller en temperatur över utomhustemperaturen så kommer det att uppstå en temperaturgradient i rummet p.g.a. densitetsskillnader mellan varm och kall luft. Gradienten är inte lika stor överallt. Det är speciellt i närheten av golv och tak men även ytterväggar som gradienten kan vara olinjär. I övriga delar av ett rum är temperaturgradienten oftast närapå linjär. Temperaturgradientens storlek varierar med läget i rummet, rumsytornas temperatur, rummets ventilation, rummets storlek, värmarnas mängd och placering, ofrivillig ventilation, rummets möblering samt verksamheten i rummet, ref. [12]. Som synes är det en mängd faktorer som påverkar, varav dock en hel del av dem oftast har liten eller mycket liten inverkan på temperaturgradienten.

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

där  $P_t$  = Effektbehov p.g.a. transmission

$P_{ov}$  = Effektbehov p.g.a. ofrivillig ventilation

$P_v$  = Effektbehov p.g.a. ventilation

Tillförd effekt som genererats internt i lokalen eller rummet tas normalt inte med i beräkningen om den inte kan betraktas som en konstant verkande värmekälla.

Effektbehov p.g.a. transmission beräknas enligt:

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

$A_i$  = Arean för varje byggnadsdel ( $m^2$ )

$U_i$  =  $U_p$  värdet för varje byggnadsdel ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$\Delta t_i$  = Temperaturdifferensen för varje byggnadsdel, d.v.s. hänsyn tas till temperaturgradienten vid beräkning av varje byggnadsdel. Man behöver inte ta hänsyn till temperaturgradienten vid låga takhöjder (ca. 2,5- 3,5 m).

Effektbehov p.g.a. ofrivillig ventilation,  $P_{ov}$ , antas normalt till följande värden:

- Äldre bostäder: 0,4-0,6 oms/h
- Nyare bostäder: 0,2-0,4 oms/h
- Äldre kommersiella eller offentliga lokaler: 0,3-0,5 oms/h
- Nyare kommersiella eller offentliga lokaler: 0,1-0,3 oms/h

Effektbehov p.g.a. ventilation beräknas enligt:

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

där  $q$  = luftflöde uteluft ( $m^3/s$ )

$\rho$  = luftens densitet ( $kg/m^3$ )

$c_p$  = luftens värmekapacitet

$\Delta t_v$  = temperaturdifferens mellan uteluftens temperatur och inblåsningstemperatur.

Beräkningen av dimensionerande effektbehov för uppvärmning görs enligt ovanstående formel.



# Takvärmehandledningen

Ett takvärmesystems inverkan på temperaturgradienten är gynnsam. Omgivande rumsytor värms upp av värmestrålningen och avger i sin tur värme dels genom strålning (sekundär) till andra ytor och dels konvektivt till luften. Detta medför sammantaget att luften kommer att värmas upp på ett mycket jämt fördelat sätt mot i stort sett alla rummets ytor. Resultatet blir en, relativt sett, liten temperaturgradient.

Som antyds ovan är det fler faktorer än värmesystemet som påverkar temperaturgradientens storlek. Därför är gradienten olika stor från lokal till lokal beroende på lokals förutsättningar. I de mätningar vi själva utfört ligger temperaturgradienten i lokaler med takvärme mellan 2,8 m och ca. 7 m takhöjd på 0,3-1,0°C/m med tyngdpunkten på 0,4-0,5°C/m.

I ref. [12] anges värden för andra värmesystem hämtat från internationell litteratur:

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

Vid högre takhöjder spelar som tidigare nämnts temperaturgradienten en inte oväsentlig roll vid beräkning av dimensionerande värmeeffektbehov. I rum med normal takhöjd (ca. 2,5 m) spelar temperaturgradienten naturligtvis relativt liten roll för effektbehovet. Nedan visas exempel på hur stor inverkan temperaturgradienten har i olika fall vid relativt höga takhöjder. Värdena nedan är teoretiskt beräknade och bygger på följande exempel:

En hall i Göteborgstrakten, DUT10= -10°C, med en golvvarea på 500, 100 resp 2000 m<sup>2</sup> och med en fönsterarea på 10% av golvvarean.

Up-värden för väggen är 0,2, för taket 0,2 och för golvet 0,3 W/m<sup>2</sup>, °C.

Fönstrens Up-värde är satt till 2,0 W/m<sup>2</sup>, °C. Ofrivillig ventilation är antagen till 0,3 oms/h. Värmeeffektbehovet avser enbart transmission och ofrivillig ventilation

Effektbehovet för varje rad är indexerad mot fallet rumstemp/gradient: 20°C/ 0,0°C/m för respektive rad. Siffrorna kan bara jämföras sinsemellan på samma rad.

## Relativt värmeeffektbehov

Energibehovet för uppvärmning kommer av tre faktorer; transmission, ventilation och ofrivillig ventilation. Transmissionen står normalt för ca. 20-50% och ventilation inklusive ofrivillig ventilation för mellan 50-80%. I en fastighet som uppvärms till normala inomhustemperaturer (ca. 20°C) anger man ofta som tumregel att man spar ca. 5% av energiförbrukningen per grads sänkning av inomhustemperaturen.

Inomhustemperaturen kan normalt sänkas en till två grader med ett takvärmesystem utan att den operativa temperaturen sänks under den tillåtna, ref. [4]. Till detta kommer effekten av att temperaturgradienten blir lägre vid takvärme än vid konventionella uppvärmningssystem. Dessa två faktorer gör att förlusterna minskar vid transmission (särskilt genom taket) men speciellt för ventilation och ofrivillig ventilation. I ref. [3] uppges att skillnaden i uppmätt energiförbrukning mellan ett takvärmesystem och ett radiatorsystem är 2-7% till takvärmens fördel. I en litteraturstudie, ref. [4], uppges uppmätta energibesparingar i olika lokaler till 6-30% med takvärme.

En teoretisk jämförelse av energiförbrukningen mellan olika system illustrerat som olika temperaturer och olika temperaturgradients redovisas på sid 4:33. Samma lokal och förutsättningar som vid jämförelsen med dimensionerande effektbehov ovan har använts. Energiförbrukningen har beräknats med graddagsmetoden. Angiven temperaturgradient antas uppstå vid dimensionerande utetemperatur (-10°C) och därefter sjunka linjärt till noll när utetemperatur och rumstemperatur är lika.

Energibehovet för varje rad är indexerad mot fallet rumstemp/gradient: 20°C/ 0,0°C/m för respektive rad. Siffrorna kan bara jämföras sinsemellan på samma rad. (se tabell 1).

## Relativt värmeenergibehov

Av tabellen kan man se att skillnaden mellan olika värmesystem, alternativt temperaturförhållande, ger en skillnad i energiförbrukning som ungefär motsvarar de uppmätta besparingar som takvärme ger upphov till i referenserna ovan. Att storleken på energibesparingen varierar är uppenbart och beror givetvis på förutsättningarna. Men helt klart är att ett takvärmesystem medför en energiförbrukning som definitivt är lägre än för de flesta andra värmesystem. (se tabell 2).

# Takvärmehandledningen

**Tabell 1 – Relativt värmeeffektbehov**

|           |             | Rumstemp./gradient (°C resp. °C/m) |        |        |        |        |
|-----------|-------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Area (m²) | Takhöjd (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   |

**Tabell 2 – Relativt värmeenergibehov**

|           |             | Rumstemp./gradient (°C resp. °C/m) |        |        |        |        |
|-----------|-------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Area (m²) | Takhöjd (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   |

# Takvärmehandledningen

## Kapitel VIII

### Miljö och återvinning

Livscykelanalyser (LCA) som har gjorts för aluminiumprodukter visar på många gemensamma drag. Materialets tillverkningsdel (brytning, anrikning och produktion) får förhållandevis höga belastningstal för både energi och miljö. I produkt-användningsdelen får man i jämförelse med andra material ett omvänt förhållande. Den belastning som aluminiumprodukter ger vid tillverkningsdelen uppvägs ibland helt av den lägre miljöpåverkan i användningsdelen.

Om aluminium dessutom återvinns i allt högre utsträckning kommer miljöbelastningen från tillverkningsdelen att minska i motsvarande grad.

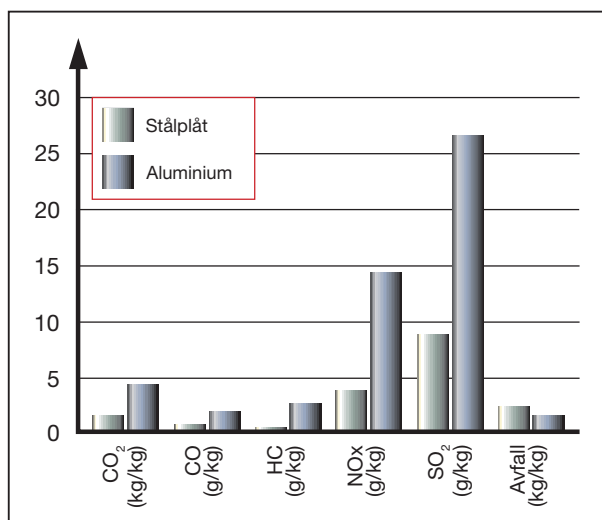
Lindab Comforts takvärmesystem består uteslutande av koppar, aluminium och en isolerskiva av expanderad polystyren samt en liten mängd tennlod. Allt ingående material exklusive isolerskivan är till 100% återvinningsbart. Redan idag går allt skrot från produktionen till återvinning.

Vid rivning av en byggnad där Lindab Comforts takvärmeprodukter finns installerade kan det metalliska materialet i dessa återvinnas till 100%. Aluminium och koppar är visserligen metalliskt förbundna i tillverkningsprocessen och kan inte separeras, men återvinning är ändå möjlig. Takvärmarna pressas ihop i paket om ca. 20 x 20 cm och används inom metallindustrin som legeringstillägg i olika aluminiumkvaliteter. I varje paket är ju andelen koppar väl definierad då varje centimeter av en panel innehåller lika många procent koppar.

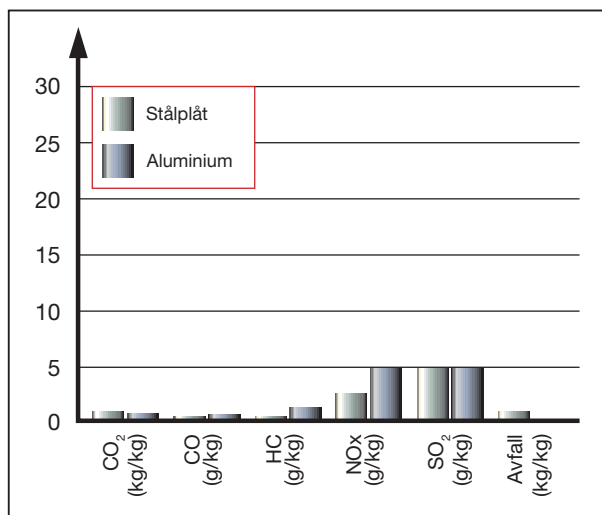
I ref. [20] redovisas livscykelanalyser (LCA) för olika förpackningsmaterial som t.ex. aluminium och stålplåt. Nedan redovisas en jämförelse mellan dessa material dels utan återvinning och del med 70-75% återvinning. De redovisade värdena är ej översättbara till Lindab Comforts takvärmeprodukter då en LCA bara gäller för en specifik produkt och dess speciella förutsättningar under dess livstid. De absoluta värdena är alltså inte applicerbara på Lindab Comforts produkter.

Vad vi vill visa med diagrammen på denna och nästa sida är dock att belastningen på miljön minskar dramatiskt med en god återvinningsgrad samt att aluminium är miljömässigt likvärdigt stålplåt vid 70-75% återvinningsgrad. Idag är återvinningsgraden låg vid rivning av ett hus, men i framtiden kommer sannolikt utvecklingen på detta området att gå snabbt och då är återvinningsgrader på 70-75% inte ovanliga. Av den anledningen kan man med stor säkerhet anta att Lindab Comfort-produkter som installeras idag kommer att återvinnas den dag huset de sitter i skall rivas eller byggas om.

### Utsläpp av olika ämnen



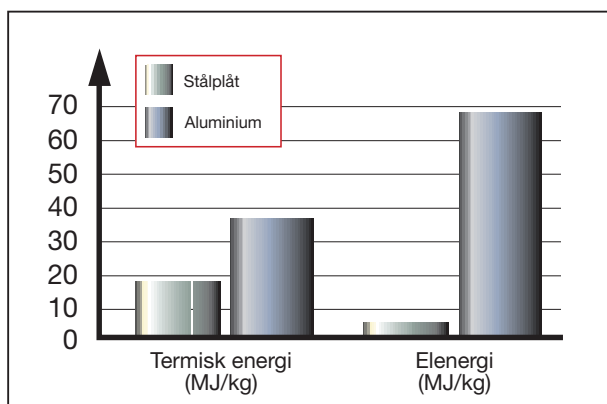
LCA-värden förpackningar utan återvinning.



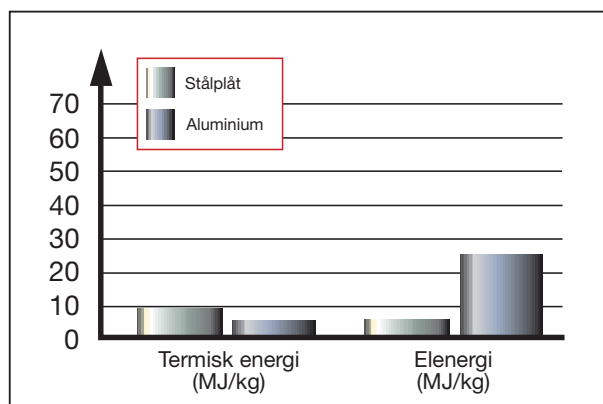
LCA-värden förpackningar med 70-75% återvinning.

# Takvärmehandledningen

## Användning av olika energislag



LCA-värden förpackningar utan återvinning.



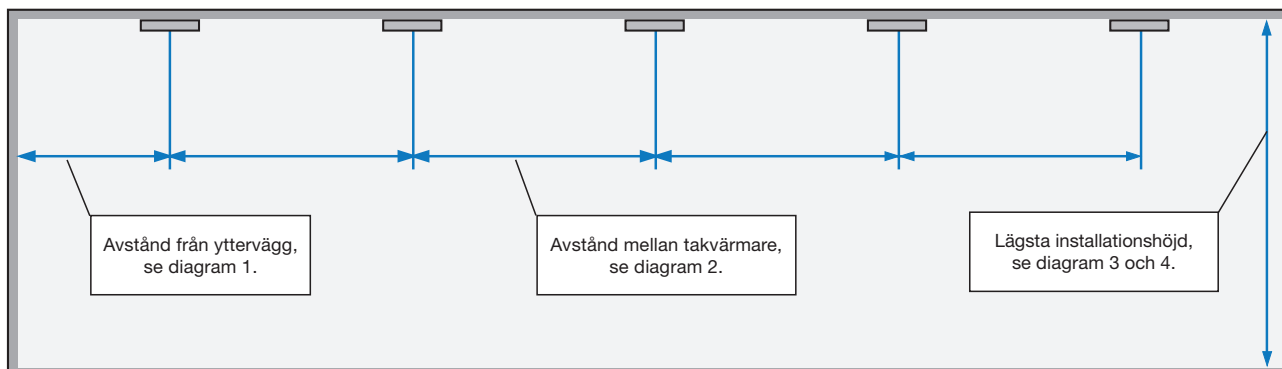
LCA-värden förpackningar med 70-75% återvinning.

## Referenser

- [1] Adamsson/Löfstedt; Takvärme, Temperaturfördelning och behaglighet; Statens institut för byggnadsforskning, Rapport R12:1971, 1971.
- [2] Lind/Olsson; Klimatmätningar i skolor med elektrisk takvärme och fläktstyrd frånluftsventilation; Statens institut för byggnadsforskning, Rapport R40:1972, 1972.
- [3] Johansson/Pettersson; Takvärme – energiförbrukning och inomhusklimat; Statens institut för byggnadsforskning, Rapport R12:1984, 1984.
- [4] Brännvall; Takvärme – kritisk granskning av olika uppvärmningssystem, litteraturstudie; KTH Inst. för Värme och Ugnsteknik, Stockholm 1977.
- [5] Jacobsson/Lindgren; Kallras vid fönster – en förstudie; Wahlings installationsutveckling AB, Stockholm 1982.
- [6] Peterson; Kallras vid konvertering; KTH Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, A4-serien nr 140, Stockholm 1991.
- [7] Al-Bazi; Klimat och byggnader nr 1/1989; KTH Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm 1989.
- [8] SCANVAC, Klassindelade inneklimatsystem, riktlinjer och specifikationer; Svenska Inneklimatinstitutet, Riktlinjeserien R1.
- [9] Allard/Inard/Simoneau; Experimental study and numerical simulation of natural convection in a room with heated ceiling or floor; ROOMVENT '90 Engineering Area- and Thermodynamics of Ventilated Room, second international conference, Oslo 1990.
- [10] Krause; Die konvektive Wärmeabgabe von Heiz-decken; Gesundheiz-ingenieur nr 10 och 11, 1959.
- [11] Müllejäns; Über die Ähnlichkeit der nichtisothermen strömung und den Wärmeübergang in Räumen mit Strahlhlüftung; Forschungsberichte des landes Nord-rhein-Westfalen, nr 1656, 1966.
- [12] Peterson, F; Temperaturgradienter vid olika uppvärmningssystem; Tekniska Meddelanden nr 65, Inst. för Uppvärmnings- och Ventilations-teknik, KTH 1975.
- [13] Pierre, B; Mekanisk Värmeteori del 2; Kompendium, Institutionen för mekanisk värmeteori och 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 and asymmetric thermal radiation on comfort; Proc. of the 6th international congress of climatistics "clima 2000", Milan, March 1975.
- [17] Chrenko, F. A.; Heated ceilings and comfort; Journal of the Inst. of Heating and 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 och fuktstyrning i Falun; Statens råd för byggnadsforskning, SPAR 1993: 67.
- [20] Tillman A-M.m.fl.; Packaging and the environment- Life-cycle analyses of selected packaging materials – Quantification of environmental loadings; Chalmers industriteknik, Göteborg 1992.
- [21] Fanger P.O.; Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering; Danish Technical Press, Copenhagen 1970.

# Takvärmehandledningen

## Dimensioneringsnyckel



## Placering av paneler

Följande tumregler bör man eftersträva att följa för att erhålla en så jämn fördelning av värmestrålningen som möjligt.

Mot yttervägg utan fönster bör panelen närmast väggen läggas enligt diagram 1.

Mot en yttervägg med fönster: Om ytterväggen innehåller normala eller stora glasytor kan panelerna läggas närmare väggen. En förtätning av värmeeffekten bör göras för att minska risken för eventuellt kallras och för att uppnå erforderligt värde på operativtemperatur. Vid mindre fönster behöver en förtätning sällan ske. Tumregler är svåra att ge i dessa fall då variationer i fönsterstorlekar och byggnadsutformning är stora.

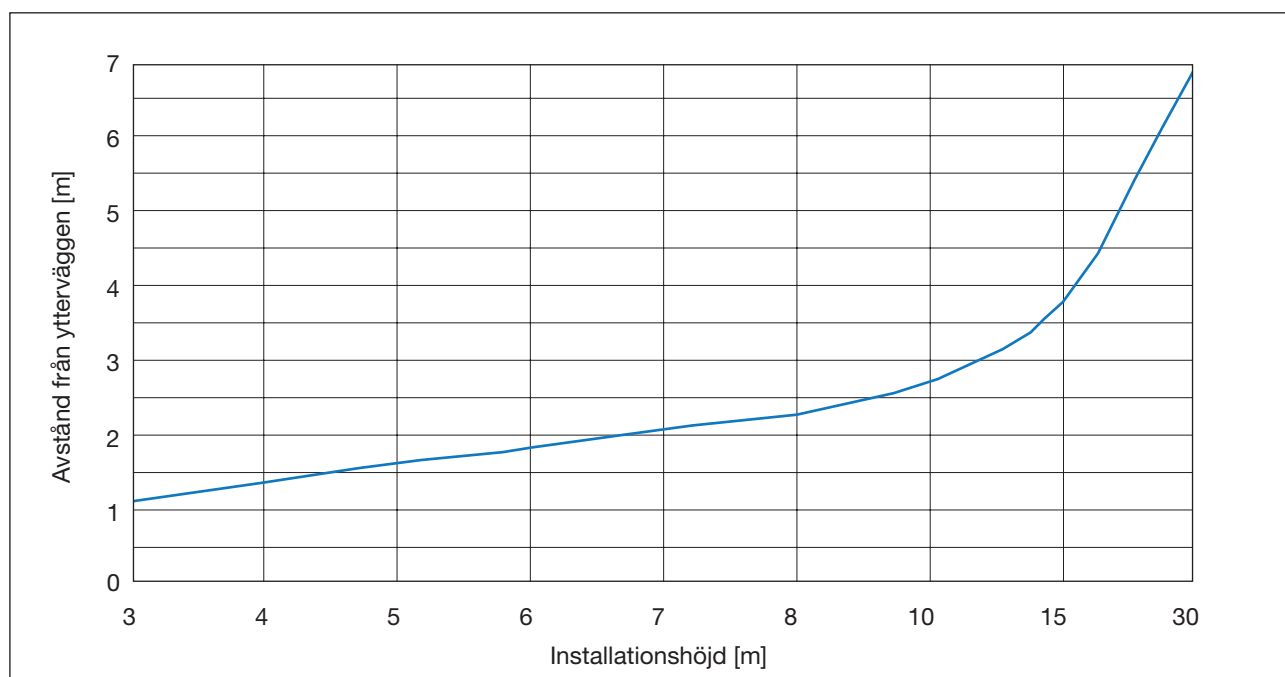


Diagram 1. Rekommenderat avstånd mellan takvärmaren närmast yttervägg och yttervägg (utan fönster).

# Takvärmehandledningen

## Placering av paneler

Delning mellan paneler/strips framgår av bild 2. I diagrammet är rekommenderade delningar mellan paneler/strips presenterade som funktion av installationshöjden. Med rekommenderad delning erhålls en värmestrålning som är lika stor mitt emellan värmarna som mitt under dem.

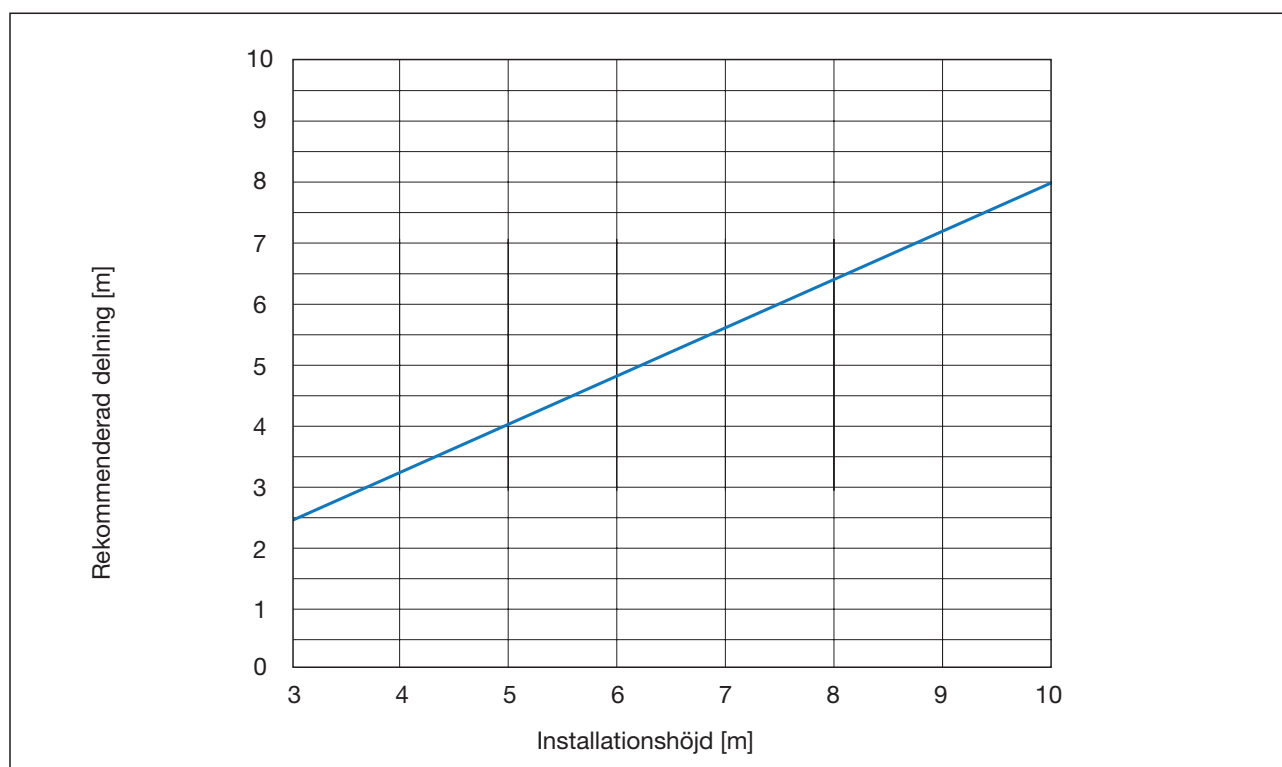


Diagram 2. Rekommenderat avstånd mellan paneler vid takvärme.



# Takvärmehandledningen

## Dimensioneringsnyckel

### Installationshöjd och temperatur

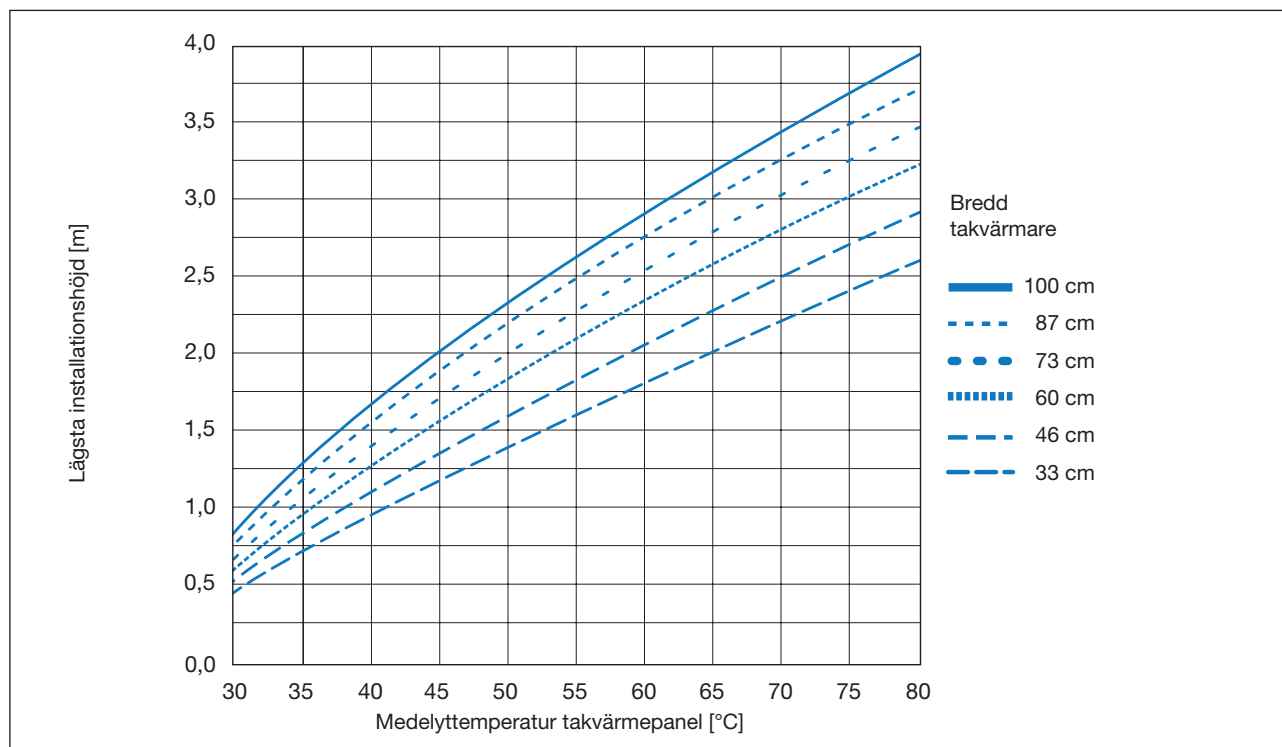


Diagram 3. Lägsta installationshöjd för takvärmare vid strålningstemperatursymmetri på 5°C. Takvärmarens längd 3,6 m.

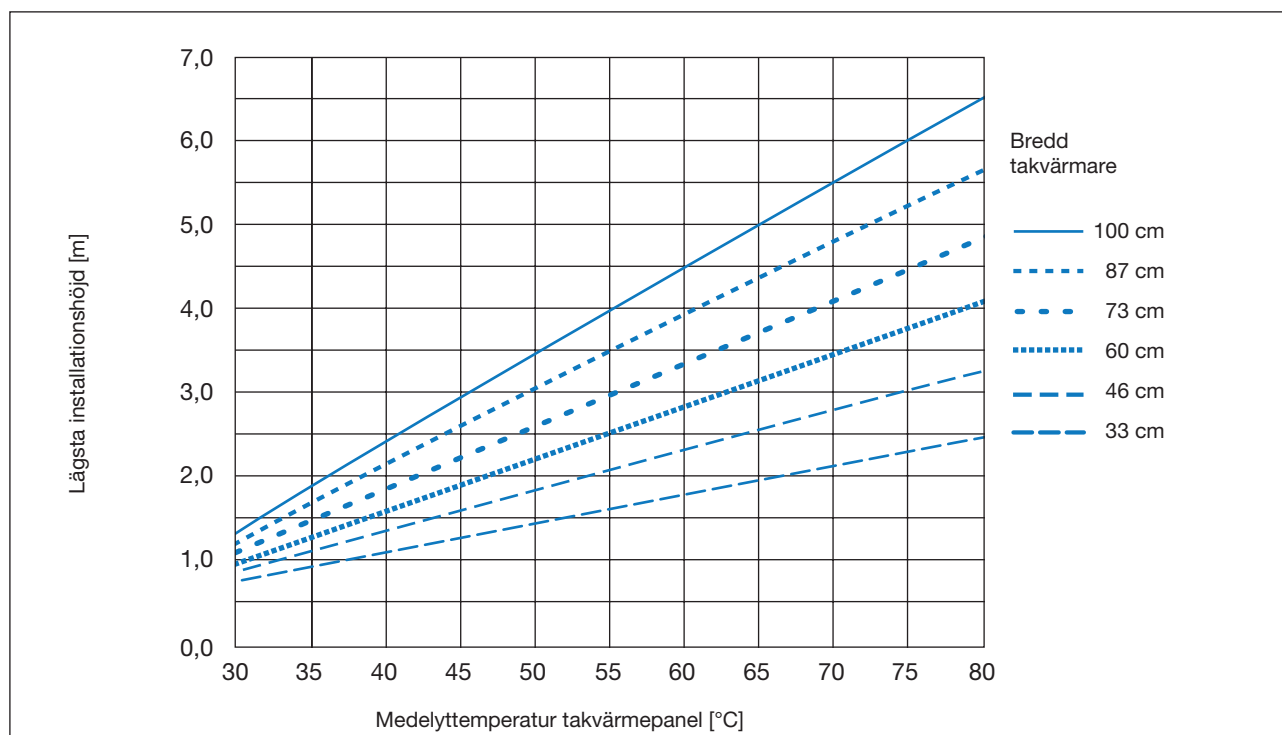
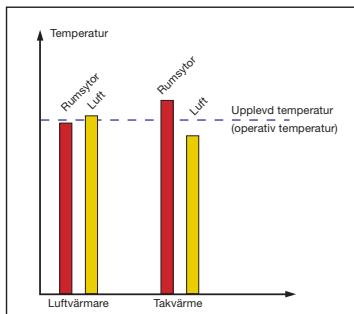


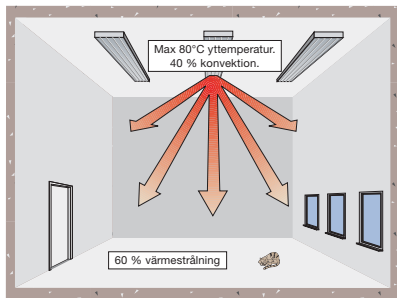
Diagram 4. Lägsta installationshöjd för takvärmare vid strålningstemperatursymmetri på 5°C. Takvärmarens längd >10 m.

# Takvärmehandledningen

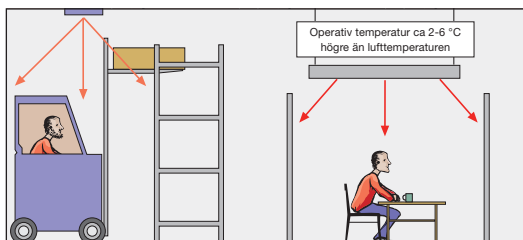
## Snabbfakta



Takvärme värmer rummets ytor via värmestrålning. Ytor värmer i sin tur luften. Det ger förutsättningar för ett mycket bra inomhusklimat.



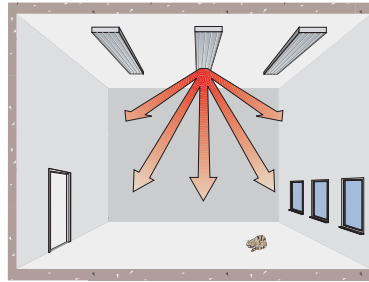
Takhöjden har ingen betydelse för att värmen skall nå ut i hela lokalen. Temperaturen på takvärmaren behöver därför inte vara högre vid högre takhöjd.



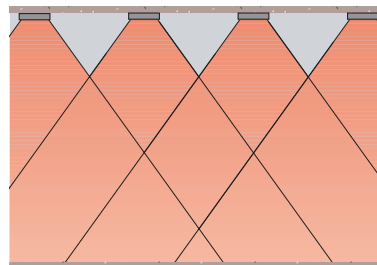
Takvärme fungerar utmärkt också för zonuppvärmning i en större lokal. Uppvärmningen av närliggande ytor och takvärmaren i sig gör att operativa temperaturen kan höjas minst 2-6°C över lufttemperaturen.

Det blir inte kallt under bordet då värmestrålningen indirekt kommer från alla ytor i rummet. Alla ytor i rummet bidrar till uppvärmningen; antingen genom att de absorberar värmestrålningen, värms upp och strålar ut värmen, eller genom att de reflekterar den.

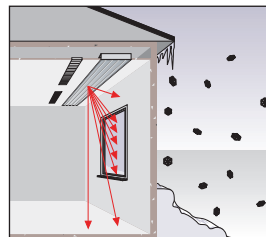
Det blir inte varmt på huvudet. Lindab Comforts takvärmare är vattenburna med en normal maxtemperatur på ca 40-60°C, samt monteras vanligtvis på en installationshöjd över 2,5 m. Detta medför att värmestrålningen från takvärmarna knappt ens är märkbar.



Takvärme är indirekt golvvärme! Strålningsvärmen gör att golvet normalt blir ca 2-3°C varmare än luften strax ovan golvet.



Värmestrålningen sprids till alla delar av rummet som takvärmaren kan "se". Mest strålning går nedåt och avtagande åt sidorna. Värmestrålningen styrs också beroende på den mottagande rumsytans temperatur.



Effekten från värmestrålning ökar mot kallare ytor. Det innebär att värmen går dit den bäst behövs, t.ex. värms en fönsterrutas insida upp så att risken för kallras elimineras.

Takvärme är bland de energisnålaste värmesystem som finns. Takvärme medger 1-2°C lägre rumstemperatur och ger en mycket liten temperaturgradient i lokalen, d.v.s. ingen värmekudde vid taket.

Takvärmesystemet kan lätt förändras med ändrad verksamhet. Man behöver inte ta hänsyn till värmesystemet när man gör ingrepp i väggar och golv.



De flesta av oss tillbringar större delen av tiden inomhus. Inomhusklimatet är avgörande för hur vi mår, hur mycket vi orkar och om vi håller oss friska.

Vi på Lindab har därför gjort till vår viktigaste uppgift att bidra till ett inomhusklimat som förbättrar människors liv. Det gör vi genom att utveckla energieffektiva ventilationslösningar och hållbara byggprodukter. Vi vill också bidra till ett bättre klimat för vår planet genom att arbeta på ett sätt som är hållbart för både människor och miljön.

[Lindab](#) | För ett bättre klimat