Värmeavledning vid beröring - en jämförande mätstudie av golvmaterial

Henrik Karlsson

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

CERBOF

Energiteknik

SP Rapport 2011:57

Värmeavledning vid beröring - en jämförande mätstudie av golvmaterial

Henrik Karlsson

Abstract

Heat dissipation by touch - comparative measurement of flooring materials

The heat dissipation by touch for 22 floor covering materials have been measured according to the Swedish standard SS 92 35 14. The set of flooring products have been selected to in order to cover a wide spectra of typical materials. The tested materials have been classified according to their ability to dissipate heat (i.e. the ability to dissipate heat from a bare foot in contact with the floor material). The classification has been done according to Schüle, von W. and Jenisch, R. (1960). The results are:

Good foot thermal comfort:

- Pile carpet tile for public spaces. 100% polyamide.
- Solid oiled pine floors. On concrete slab or self-supporting (25 mm)

Sufficient foot thermal comfort:

- Heterogeneous PVC with foam back side (2.8 mm)
- Oiled and varnished oak parquet (14 mm)
- Lacquered oak veneer on HDF board (7 mm)
- High-pressure laminate (8 mm)
- Bamboo flooring of glued, solid rods, oiled (15 mm)
- PVC-coated cork (3.5 mm)
-

Not sufficient foot thermal comfort:

- PVC with 3 mm foam back side (5 mm)
- Homogeneous PVC with foam back side (3.2 mm)
- Linoleum with or without the thin foam underside (2 or 2.3+1 mm)
- Linoleum (2 mm) glued on HDF board with cork back side (total 9.8 mm)
- High-pressure laminate (11 mm)
- High-pressure, compressed, solid, lacquered bamboo (14 mm)
- Rubber flooring (2.1 / 2.6 mm)
- Ceramic tiles homogenous on screed (6 mm)
- Floor brick on screed, oiled (40 mm)

Bad foot thermal comfort:

- Ceramic tiles with smooth surface on screed (6 mm)
- Raw concrete (50 mm)

Key words: Heat dissipation by touch, floor materials, thermal comfort

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2011:57
ISBN 978-91-86622-87-9
ISSN 0284-5172
Borås 2011

Innehållsförteckning

Abstract **3**

Innehållsförteckning **4**

Förord **5**

Sammanfattning **6**

Bakgrund **7**

Syfte **7**

1 Mätning av värmeavledning vid beröring **8**
1.1 Värmeavledning – halvoändlig approximation 8
1.2 Beskrivning av metod och mätutrustningen 10
1.3 Testade material 13
1.4 Resultat från mätningar 14
1.5 Klassificering av golvmaterial 17

2 Optimal golvtemperatur för fotkomfort **19**
2.1 Komfortstudie av Olesen (1977) 19
2.2 Vilka golvtemperatur kan man förvänta sig? 20

Referenser **22**

Förord

Följande arbete är en del i projektet ’Termisk komfort i lågenergihus och passivhus’ som har finansierats av CERBOF (Centrum för Energi- och Resurseffektivitet i Byggande och Förvaltning). Ekonomiskt stöd har också utgått från kompetensplattformen SP ZEB (Zero Emission Buildings). Tarkett Sverige AB har tillhandahållit några av de golvmaterial som provats.

Sammanfattning

I denna rapport redovisas mätresultat av värmeavledningen vid beröring av 22 stycken golvmaterial enligt svensk standard SS 92 35 14. Produkterna är utvalda för att täcka in vanligt förekommande golvmaterial. Golvmaterialen rangordnas efter mätresultaten, det vill säga dess förmåga att avleda värme vid kontakt med en bar fot. Utgår vi från en i litteraturen föreslagen klassificering av golvmaterial (Schüle, von W. och Jenisch, R. (1960)) erhålls följande gruppering:

”God värmebehaglighet”:

- Skuren melerad textilplatta för offentlig miljö. 100% polyamid.
- Massivt oljat furugolv på betongplatta eller självbärande (25 mm)

”Tillräcklig värmebehaglighet”:

- Heterogent PVC-golv med tunn skumplastlager på undersidan (2,8 mm)
- Oljad och lackad ekparkett (14 mm)
- Lackad ekfanér på HDF-skiva (7 mm)
- Högtryckslaminat (8 mm)
- Bambuparkett av limmade, massiva stavar , oljad (15 mm)
- PVC-belagd kork (3,5 mm)

”Ej tillräcklig värmebehaglighet”:

- PVC-golv med 3 mm skumplastlager på undersidan (5 mm)
- Homogent PVC-golv med tunn skumplastlager på undersidan (3,2 mm)
- Linoleum med eller utan tunn skumplastundersida (2 alternativt 2,3+1 mm)
- Linoleum (2 mm) limmad på HDF-skiva med korkundersida (totalt 9,8 mm)
- Högtryckslaminat (11 mm)
- Högtryckskomprimerad, massiv, lackad bambu (14 mm)
- Gummigolv (2,1 / 2,6 mm)
- Klinker, homogen granitkeramik (6 mm)
- Golvtegel på avjämningsmassa, oljat (40 mm)

”Kallt för fötterna”:

- Klinker med blank yta (6 mm)
- Rå betong (50 mm)

Mätningarna påvisar att för tunna golvmaterial (2-4 mm) påverkar undergolvets termiska egenskaper värmeavledningen. För samma golvbeläggning är värmeavledningen lägre om det tunna golvmaterialen appliceras på en 22 mm golvspånskiva jämfört med ett betong-underlag. För tjockare golvmaterial (t ex träparkett) påvisar mätningarna att värmeavled-ningsförmågan är okänslig för golvunderlagets termiska egenskaper (träbjälklag eller be-tong platta/bjälklag).

Bakgrund

Samhällets målsättning att reducera energianvändningen i vår byggda miljö innebär en utveckling av byggtekniken. Klimatskal med mer värmeisolering, fönster med högre värmemotstånd, lufttätning av klimatskalet och till- och frånluftsventilation med värmeåtervinning är alla åtgärder som minskar bostadsbyggnadernas värmebehov. Byggkoncept som ”passivhus” med kraftigt reducerade värmebehov har introducerats i Europa och Sverige. Vid passivhusbyggande installeras ofta ett ”icke konventionellt” värmesystem, det vill säga hus utan vattenburen värme i radiatorer eller golvvärme. Vanligtvis utnyttjas istället tilluften i det mekaniska ventilationssystemet som värmebärare.

Termisk komfort är en viktig aspekt som bör beaktas vid utvecklingen av teknik för lågenergibyggande. Tack vare det lufttäta och välisolerade klimatskalet är yttemperaturen på golv, väggar och tak relativt hög även när det är kallt ute. Förutsättningar för att uppnå en tillfredställande termisk komfort är därmed goda. Samtidigt väcks frågor om att avsaknaden av det ”konventionella” värmesystemet leder till lägre golvtemperaturer (utan golvvärme) och risk för kallras vid fönster (utan radiatorer). Hur kan god termisk komfort uppnås trots avsaknad av konventionell uppvärmning?

I denna rapport undersöks olika golvmaterials förmåga att avleda värme vid kontakt med människans fot. Upplevelsen av varma eller kalla golv påverkar i allra högsta grad bedömningen av den termiska komforten. När man går (eller står) på ett golv, belagt med ett visst golvmaterial, upplever man golvet som för kallt, för varmt eller helt enkelt som behagligt. Fotens termiska komfort bestäms av ett flertal faktorer, både fysiologiska och tekniska. Av de tekniska faktorerna kan nämnas golvets yttemperatur, uppvärmningssystem, vad man har på fötterna samt golvkonstruktionens förmåga att avleda värme från foten.

Värmeavledningen är den egenskap som undersöks i denna rapport. Värmeavledning är ett golvmaterials förmåga att transportera bort värme vid kontakten med en annan kropp (foten). Goda värmeavledare fordrar en högre golvtemperatur än dåliga värmeavledare för att uppnå samma termiska komfort för fotens kontakt med golvet. Vid samma golvtemperatur upplevs golvmaterial med god värmeavledning som svalare än golvmaterial med lägre värmeavledning.

Syfte

Delprojektet syftar till att bestämma och rangordna/klassificera ett flertal golvmaterial utifrån produktens värmeavledning vid beröring enligt SS 92 35 14. Totalt undersöks 22 stycken golvmaterial.

1 Mätning av värmeavledning vid beröring

1.1 Värmeavledning – halvoändlig approximation

Vi inleder beskrivningen av värmeavledning med att se på ett förenklat fall med kontakt mellan homogena halvoändliga kroppar. Detta fall har en analytisk lösning vilket underlättar förståelsen av värmetransportprocessen. Hur mycket värme som överförs vid beröring av en homogen kropp beror på följande faktorer:

- materialets termiska konduktivitet, λ [W/m/K]
- materialets värmekapacitet, c [J/kg/K]
- materialets densitet, ρ [kg/m^3]
- temperaturdifferens mellan ”fot” och material, ΔT [K]
- eventuellt övergångs- eller kontaktmotstånd, R [m^{2}K/W]

Ett homogent materials förmåga att absorbera värme från dess omgivning kallas värmeeffusivitet b [W$\sqrt{s}$/m^2/K]. I Tabell 1 redovisas termiska egenskaper för ett urval av byggnadsmaterial och typiska golvmaterial. Material med hög värmekonduktivitet λ , värmekapacitet c och densitet ρ (t ex sten, betong och metall) är goda värmeavledare medan material med låga λ, ρ och c är dåliga värmeavledare (t ex trä och textil).

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho c} \tag{1}$$

Tabell 1 Termiska egenskaper för ett urval av byggnadsmaterial och typiska golvmaterial.

Material	λ [W/m/K]	ρc [MJ/m^3/K]	b [W$\sqrt{s}$/m^2/K]	a [m^2/s]	$x_{0.5}$ (1min) [mm]	$x_{0.5}$ (10min) [mm]
Tegel	0,6	1,35	900	4,4E-07	5	16
Betong	1,7	1,8	1750	9,4E-07	8	24
Granit	3,5	2,2	2780	1,6E-06	10	31
PVC	0,17	1,25	460	1,4E-07	3	9
Linoleum	0,17	1,7	530	1,0E-07	2	8
Mineralull	0,04	0,12	70	3,3E-07	4	14
Trä	0,14	0,75	325	1,9E-07	3	11

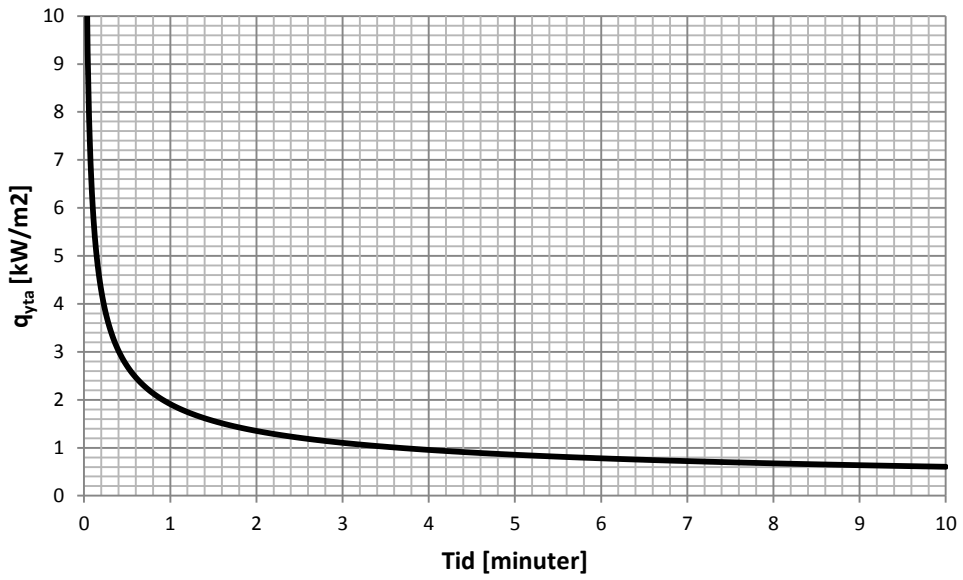
Värmeflödet tvärs kontaktytan mellan ett homogent halvoändligt material och en halvoändlig kropp med konstant temperatur benämns $q_{yta}(t)$ [W/m^2]. Vi tänker oss att kroppen med konstant temperatur motsvarar en fot. Värmeflödet tvärs kontaktytan mellan kropparna blir:

$$q_{yta}(t) = \frac{b\Delta T}{\sqrt{\pi t}} \tag{2}$$

Förloppet för de första tio minuternas tidsberoende värmeflöde $q_{yta}(t)$ orsakat av kontakten mellan kropparna redovisas i Figur 1, i detta fallet golv av betong. Vi ser att initialflödet är mycket kraftigt men att flödesdensiteten snabbt avtar, efter någon minuts kontakt planar värmeflödesintensiteten vid ytan ut.

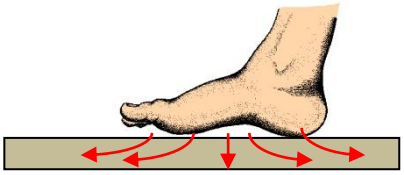
Är värmeeffusiviteten b känd för golvet är problemet angående värmeavledningen vid beröring löst. En klassificering av golvmaterial skulle innebära att bestämma λ, ρ och c. Problemet är dock i verkligheten mer komplicerat än så. Vid provning är varken golvet halvoändligt (oändligt stor yta och tjocklek) eller (sällan) homogena. Värmeeffusiviteten

för golvmaterialet är alltså inte definierbar. Vidare är inte kroppen (foten) som exciterar värmeflödet tvärs kontaktytan oändligt stor. Alltså råder inte de förutsättningar som krävs för att ekvation 2 skall vara applicerbar i ett verkligt fall.

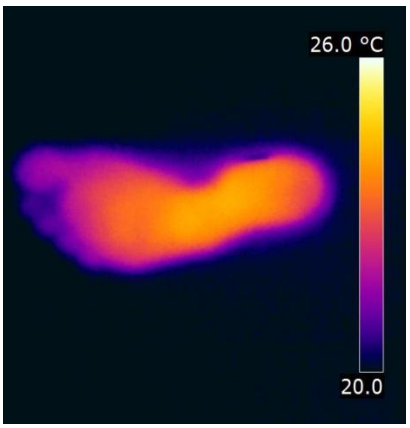


Figur 1 Värmeflödet tvärs kontaktytan mellan halvoändlig betong och en halvoändlig kropp med konstant temperatur enligt Ekvation 1. b=1750, ΔT=15K, perfekt termisk kontakt (R=0).

Vid kontakt mellan foten, som har en begränsad area på en större golvyta, leds värme både rakt ner i golvet men också horisontellt längs med golvet bort från området under foten. De termiska egenskaperna för det översta skiktet i golvet kan därmed vara viktiga komponenter för att bestämma initialflödet från foten. Värmeflödet i sidled innebär att värmekonduktiviteten kommer att ha en större inverkan på värmeavledningen än man förväntar sig om man bara tar hänsyn till värmeeffusiviteten. De flesta golvmaterial är även horisontellt skiktade i lager med olika termiska egenskaper vilket kan påverka värmeavledningen. Även tunna ytbeläggningar som t ex en lack, plastlager och fanér kan påverka värmeavledningen. Figur 2 och Figur 3 illustrerar värmeavledningen från en fot samt påverkan av golvets yttemperatur efter 1min kontakt med en verklig fot.



Figur 2Värmeavledning från en fot.



Figur 3 Termografering (yttemperatur) av fotavtryck på laminatgolv (golvmaterial 8).

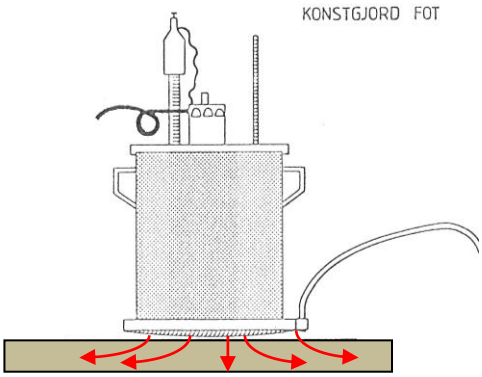
Golvbeläggningens tjocklek och värmemotstånd blir viktig först efter en viss tids termisk kontakt med foten. Initialt värms materialen i golvbeläggningen successivt upp, värmen

från foten genererar en temperaturfront som rör sig genom materialet – från golvytan ner genom konstruktionen. Hur snabbt temperaturfronten propagerar igenom ett material beror på dess termiska diffusivitet a [m^2/s], se Ekvation 2. Med den förenklade halvoändliga åskådningen går det att analytiskt bestämma på vilket djup temperaturfronten befinner sig vid en viss tidpunkt. x_{50} [m] motsvarar djupet mätt från kontaktytan vid vilken temperaturförändringen nått 50 % av den maximala temperaturförändringen, se ekvation 4. I Tabell 1 redovisas x_{50} för tidpunkterna 1 och 10 minuter. Tunna golvbeläggningar som t ex PVC och Linoleum har en typisk tjocklek i storleksordningen 2-4 mm. Detta innebär att en temperaturfront genererad av foten kan hinna nå ned till underlaget under den tunna golvbeläggningen redan efter 1 minut. För golvbeläggningar som typiskt är lite tjockare, t ex trägolv, når fronten 3 mm ner i materialet på 1 minut vilket uppskattningsvis är mellan 1/2 till en 1/8 av golvbeläggningens totala tjocklek. Alltså är värmeavledningen för de tjockare golvmaterialen okänslig för golvunderlagets termiska egenskaper. Men inom 10 min är det dock möjligt att temperaturfronten kan nå underlaget även för t ex en typisk träparkett (x_{50}=11 mm enligt Tabell 1).

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \tag{3}$$

$$x_{50}(t) = \sqrt{at} \tag{4}$$

1.2 Beskrivning av metod och mätutrustningen



Figur 4 Värmeavledning från en konstgjord fot.

En provutrustning och provförfarande för att mäta värmeavledningsförmågan för golvmaterial finns beskriven i den svenska standarden SS 92 35 14 (SIS, 2005). Provkroppar av storlek 0,5x0,5 m uppbyggda så långt som möjligt som ett verkligt golv används. Provmetoden föreskriver att golvprovkroppen utsätts för en förutbestämd temperaturdifferens varvid en direkt mätning av värmeflödet sker med hjälp av en värmeflödesmätare. Temperaturdifferensen samt förutsättningen att endast en del av golvet skall vara i kontakt med foten (motsvarande kontaktytan för ett fotavtryck) skapas med hjälp av en cylindrisk konstgjord fot fylld med varmt vatten, se Figur 4 och Figur 6. Försöket går ut på att mäta det ackumulerade värmeflödet Q (kJ/m^2) mellan den konstgjorda foten och golvmaterialet under en given tidsperiod.

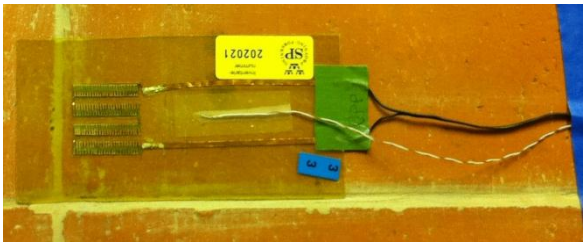
Mätutrustningen består av:

- Cylindrisk konstgjord fot (diameter 150 mm) med tillhörande doppvärmare, termostat och omrörare, se Figur 4 och Figur 6. Fotens undersida består av ett gummimembran som i viss mån fyller ut ojämnheter i golvets ytstruktur.
- Rektangulär värmeflödesmätare, 0,45 mm tjock med 4 x 24 stycken lödställen, se Figur 5.
- Spänning/puls-omvandlare samt klocka för avläsning av det ackumulerade värmeflödet under 1 respektive 10 minuter.

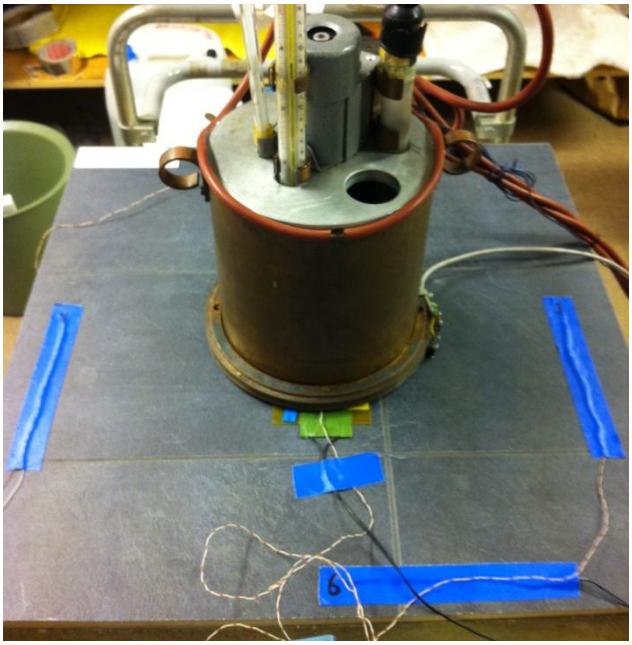
Försöket utförs i ett klimatrum med konstant lufttemperatur (23±2 °C) och luftfuktighet (50±5 %). Innan mätningarna genomförs förvaras samtliga material i klimatrummet tills jämvikt råder. Golvmaterialets yttemperatur fastställs med hjälp av termoelement som tejpas på flera punkter utefter golvmaterialets ovansida. Enligt SS 92 35 14 är golvmaterialet placerat på skiva av 50 mm betong.

Foten fylls med vatten och värms upp till 15 °C över golvmaterialets uppmätta yttemperatur (ΔT=15 °C vid inledningen av försöket). Den inbyggda värmaren och termostaten håller vattentemperaturen (foten) konstant. Innan försöket, under uppvärmning, står den konstgjorda foten på ett underlag av EPS-isolering. Värmeflödesmätaren placeras på en slät yta i mitten av golvmaterialet. Till värmeflödesmätaren är en spänning/puls-omvandlare inkopplad. Omvandlaren mäter det ackumulerat värmeflödet från det att försöket inleds.

Foten placeras mitt över värmeflödesmätaren och räkneverket på spänning/puls-omvandlaren börjar räkna antalet ackumulerade pulser i samma ögonblick som foten ställes ned på golvet. Efter 1 respektive 10 minuter registreras värdet på spänning/puls-omvandlaren. Efter 10 minuter är försöket färdigt och foten placeras åter på EPS skivan. Underlaget är nu uppvärmt i området där foten placerats och måste nu svalna av tills dess att temperaturen i underlaget åter antar det omgivande rummets temperatur. Först då kan ett nytt test utföras.



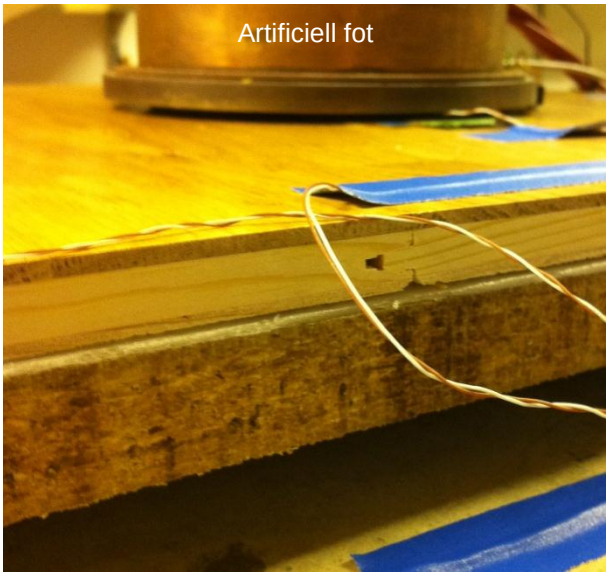
Figur 5 Värmeflödesmätare



Figur 6 Konstgjord fot placerad på golvmaterial under mätning (material 8). Värmeflödesmätaren är placerad mellan foten och golvytan. Termoelement runt om foten för kontroll av golvmaterialets yttemperatur.

Resultatet från en mätning redovisas som Q_1 och Q_{10} [kJ/m^2] vilket är det ackumulerade värmeflödet efter 1 respektive 10 minuters termisk kontakt med foten. Q_1 beror till största del på golvbeläggningens egenskaper för de första millimetrarna in i materialet, enligt tidigare resonemang kring djupet x_{50}. Underlagets egenskaper har liten påverkan på värmeavledningen under så korta perioder vilket ger att Q_1 och är ett mått på provets värmebehaglighet vid beröring. Eftersom värmefronten från fotkontakten i flera fall hinner nå underlaget under 10 minuters kontakt är Q_{10} snarare ett mått på provets värmemotstånd. Q_{10} är inte betydelselöst vid en klassificeringen av ett golvmaterials värmeavledning eftersom underlaget är standardiserat i provningsförfarandet (betongunderlag).

Som ett komplement till det normala testförfarandet (enligt SS 92 35 14, med betongskiva som underlag) bestämdes i denna studie även golvkonstruktionens värmeavledningen för ett mindre urval av golvmaterial under villkor tänkta att motsvara ett träbjälklag. Det termiskt lätta träbjälklaget motsvarar i testet en försöksuppställningen med 22 mm golvspånskiva samt 25 mm underliggande luftspalt som underlag till golvmaterialet, se Figur 7. Luftspalten skapas genom att lägga två träribbor underst. I ett fall studeras även ett självbärande massivt furugolv (material 15*) som vilar direkt på distanslisterna utan golvspånskivan.



14 mm parkett

2 mm foam

22 mm golvspånskiva

25 mm luftspalt

betongunderlag

Figur 7 Alternativt test av parkettgolv (material 10*) med 22mm golvspånskiva som underlag.

Metodens mätosäkerheten uppskattats till ±5 %. Osäkerhetsbidragen kommer från mätning av flödesmätarens spänning, kalibrering av flödesmätaren, kalibrering av spänning/puls-omvandlaren, temperaturstabilitet, mätning av tid samt mätning av temperaturen på golvytan respektive den konstgjorda foten.

1.3 Testade material

Inledningsvis bestämdes värmeavledningen för totalt 22 golvmaterial där betongskivan används som underlag. Ett underlag av betong motsvarar förutsättningarna som anges i SS 92 35 14. Golvmaterialen är beskrivna i Tabell 2. De keramiska materialen (golvtegel och golvklinker) är monterade på en egen underlagsplatta av avjämningsmassa enligt monteringsanvisning.

Tabell 2 Förteckning över provföremålen. Underlag: B = 50 mm betongskiva, F = golvfoam (2,0 mm), S = golvspånskiva (22 mm), SJ = självbärande och A = avjämningsmassa. * indikerar att golvmaterialet är testat på spånskiva (alt. självbärande). ** indikerar att golvet även är testat placerat direkt mot betongskivan utan golvfoam.

		Underlag	Tjocklek Slitskikt [mm]	Tjocklek Total [mm]	Ytstruktur
1	PVC-golv med 3 mm skumplastlager på undersidan. För sporthall, förskola.	B	0,8	5	Slät
2	Homogent PVC-golv med tunn skum-plastlager på undersidan	B	1,5	2,3	Slät
3*	Heterogent glasfiberförstärkt vinylgolv. PUR-förstärkt ytskikt. Skumplast/filt-lager med polyester på undersidan.	B / S	0,35	2,8	Slät
4*	Linoleum	B / S	-	2	Slät
5	Linoleum med tunn skumplastlager på undersidan	B	2,3	3,3	Slät
6	2mm linoleum ytskikt limmat på HDF-skiva med 1mm kork på undersidan.	B	2	9,8	Slät
7	Skuren melerad textilplatta för offentlig miljö. 100% spinnfärgad polyamid.	B	-	8	Textilmatta
8	Högtryckslaminat HDF inkl. 2mm bak-sidesbeläggning (ljudisolering)	B	-	11	Viss tunn ytstruktur. Mönster efter fogar (klinkerimitation)
9*	Högtryckslaminat HDF	B+F / S+F		8	Viss träådringsstruktur (träimitation)
10*/**	Ekparkett, halvblank lack	B+F / S+F / B	3,6	14	Slät

		Underlag	Tjocklek Slitskikt [mm]	Tjocklek Total [mm]	Ytstruktur
11	Ekparkett, matt lack	B+F	3,6	14	Slät
12	Ekparkett, hårdvaxolja	B+F	3,6	14	Slät
13	Ekfanér på HDF-skiva, mattlack	B+F	0,6	7	Slät
14	Ekfanér på HDF-skiva, halvblank lack	B+F	0,6	7	Slät yta, smala spår i ytan (skeppsgolv)
15*	Massiv furu, oljad	B+F / SJ	25	25	Slät
16	Bambu, limmade massiva komprimerade bambustavar (vertikala limfogar), oljad	B+F	15	15	Slät
17	Bambu, högtryckskomprimerad, massiv, halvblank lack.	B+F	14	14	Slät
18	PVC-belagd kork	B	0,6	3,5	Slät
19	Gummigolv	B	-	2,6/2,1	Ojämn yta med upphöjda ”cylindrar”. 0,5 mm höga, 28 mm diameter, 37 mm CC-mått jämnt fördelat över hela ytan.
20	Klinker, homogen granitkeramik	A	-	6	Små ojämnheter, fogar
21	Klinker med blank yta	A	-	6	Slät, fogar
22	Oljad golvtegel satt i bruk med fogar.	A	-	40	Viss höjdskillnad mellan plattorna. Ojämna fogar
23	Betongunderlaget, referens	-	50	50	Slät
24	EPS isolering, referens	B	30	30	Slät

1.4 Resultat från mätningar

Golvkonstruktionernas uppmätta värmeavledningsförmåga redovisas i Tabell 3 samt i Figur 8 och Figur 9. I Figur 8 redovisas samtliga mätningar utförda med betongskivan som underlag enligt SS 92 35 14. Som förutspått är referensmaterialet av EPS (24) det material med klart lägst värmeavledning. Underlagsskivan i betong (23) har den högsta värmeavledning.

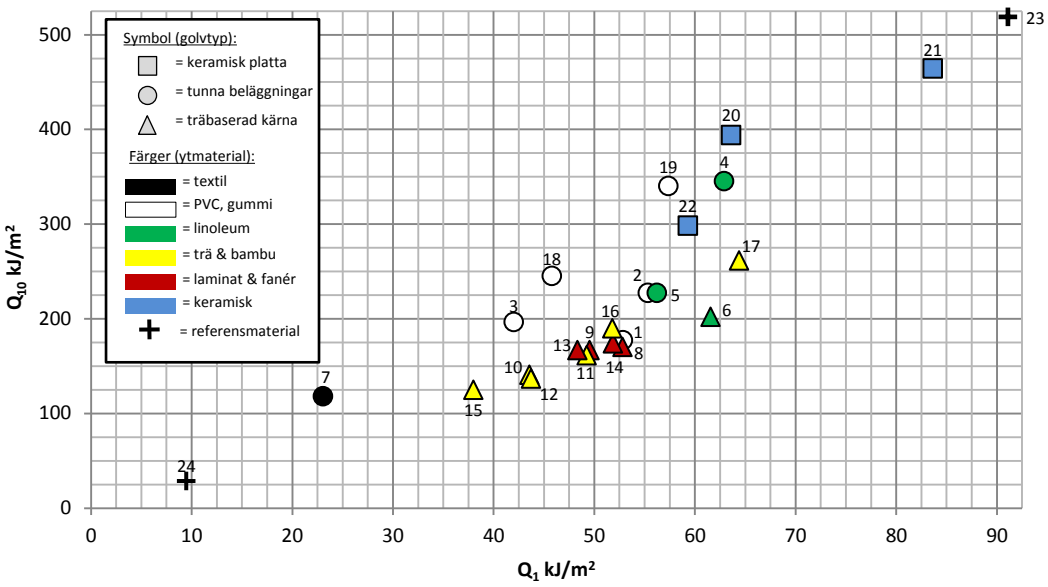
De tre keramiska materialen (kvadrater i Figur 8) är inte oväntat material med hög värmeavledning. För klinkerplattorna uppvisar material 21 avsevärt högre värmeavledning än material 20. En förklaring kan vara ytstrukturen på materialen. Material 20 har en något ojämn yta medan material 21 är helt slät. Ojämnheterna kan ge små luftfickor mellan golvytan och värmeflödesmätarens undersida vilket bromsar värmeflödet från foten ned mot golvet. På material 21 här ytan även blank medan material 20 är av homogen granitkeramik utan ytbeläggning. Ytskiktet kan bidra till den höga värmeavledningen för material 21. Golvteglet (22) är jämförbart med två av de tunna golvmattorna (4 och 19) och inte helt oväntat materialet med lägst värmeavledning i produktgruppen tack vare teglets lägre densitet.

I Figur 8 redovisas golvmaterialen med en kärna av trä (lamellparkett, massiv eller HDF) med trianglar. Inom denna materialgrupp uppvisar det massiva furugolvet den lägsta värmeavledning för både 1 och 10 min termisk kontakt. I stigande ordning kommer ekparketten (10 och 12). Ekparketten med mattlack (11) avviker från de övriga två ekparketterna (10 och 12, halvblank lack och hårdvaxolja). Material 10, 11 och 12 är av samma fabrikat och uppbyggnad, det som skiljer är ytbehandlingen. I samma storleksordning som den mattlackade ekparketten (11) återfinns träfanérgolven, laminatgolven samt det stavlimmande bambugolvet (8, 9, 13, 14 och 16). Inom produktgruppen med golv av trä-kärna avviker material 6 (linoleum på HDF-skiva med korkunderlag) samt den högtrycks-komprimerade bambun (17). Speciellt resultaten från den högtryckskomprimerade bambun visar betydelsen av värmeeffusivitet *b*. Densiteten för komprimerad bambu är enligt tillverkaren 1200 kg/m^3 för material 17 och 700 kg/m^3 för material 16 vilket resulterat i en högre värmeeffusiviteten och värmeavledning. Jämfört med det massiva trägolvet (15) är skillnaden i uppmätt värmeavledning (Q_1 och Q_{10}) betydande. För jämförelse har furu en densitet kring 450-500 kg/m^3.

Produktgruppen med tunna golvbeläggningar som PVC, linoleum, textil och gummi betecknas med cirklar i Figur 8. Textilmattan (7) uppvisar den lägsta värmeavledningen Q_1 av golvmaterialen. Samtidigt är det ingen signifikant skillnad mellan textilmattan och trägolven när det gäller Q_{10}. Förklaringen är att de tunnare materialen har ett lägre värmemotstånd vilket influerar på Q_{10}. Mätningarna styrker tesen att Q_{10} generellt sett är högre för de tunnare materialen jämfört med de tjockare golvmaterial. För material med tunna slitskikt i PVC (1 och 3) är Q_1 i samma storleksordning som trämaterialen. Material (2, 4, 5 och 19) ur produktgruppen uppvisar högre Q_1 och Q_{10} än vad de träbaserade materialen uppvisar. Ytskikten av linoleum (gröna markörer) verkar generellt ge hög värmeavledning Q_1. Noterbart är skillnaden i uppmätt värmeavledning då linoleummattan beläggs med ett tunt skikt av skumplastskiva på undersidan – både Q_1 och Q_{10} minskar avsevärt (se material 4 och 5 i Figur 8).

Tabell 3 Uppmätt värmeavledning (Q_1 och Q_{10}), sortering efter uppmätt Q_1.

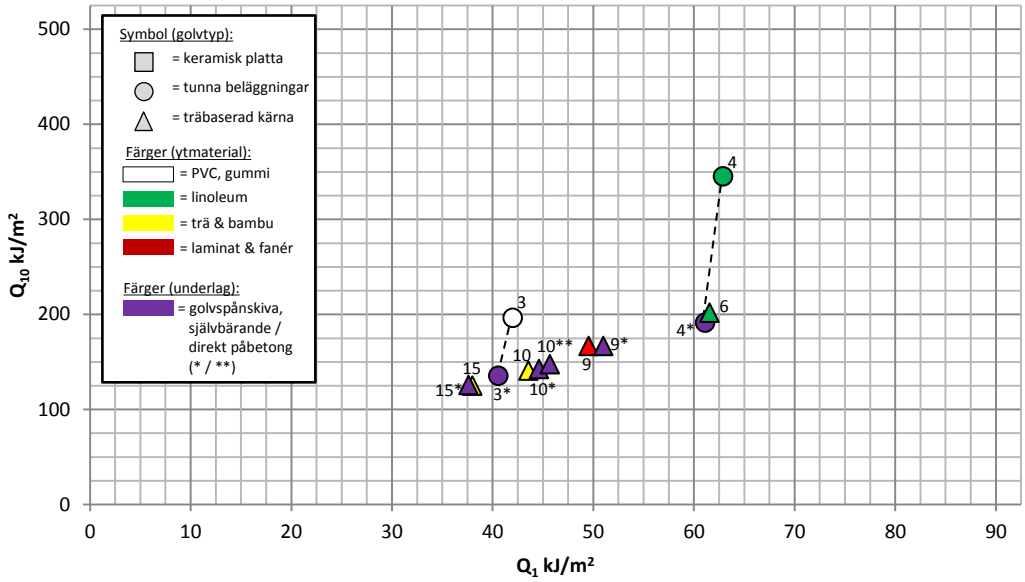
Prov		Q_1 [kJ/m^2]	Q_{10} [kJ/m^2]
7	Textilplatta	23	118
15*	Massiv furu, oljad	38	126
15	Massiv furu, oljad	38	125
3*	Heterogent glasfiberförstärkt PVC-golv	41	135
3	Heterogent glasfiberförstärkt PVC-golv	42	196
10	Ekparkett, halvblank lack	44	141
12	Ekparkett, hårdvaxolja	44	137
10*	Ekparkett, halvblank lack	45	142
10**	Ekparkett, halvblank lack	46	147
18	PVC-belagd kork	46	245
13	Ekfanér på HDF-skiva, mattlack	48	167
11	Ekparkett, mattlack	49	161
9	Högtryckslaminat HDF	50	167
9*	Högtryckslaminat HDF	51	166
16	Bambu, limmade komprimerade stavar, oljad	52	190
14	Ekfanér på HDF-skiva, halvblank lack	52	174
8	Högtryckslaminat HDF inkl. baksidesbeläggning	53	170
1	PVC-golv med skumbaksida	53	177
2	Homogent PVC-golv med skumbaksida	55	227
5	Linoleum med tunn skumbaksida	56	227
19	Gummigolv	57	340
22	Oljad golvtegel	59	298
4*	Linoleum	61	191
6	Linoleum ytskikt, HDF-skiva, korkundersida.	62	202
4	Linoleum	63	345
20	Klinker, homogen granitkeramik	64	394
17	Bambu, högtryckskomprimerad, lackad	64	261
21	Klinker med blank yta	84	464
23	Betongunderlaget, referens	91	519
24	EPS isolering, referens	9	29



Figur 8 Uppmätta Q_1- och Q_{10}-värden [kJ/m^2] för studiens samtliga golvmaterial med betongunderlag enligt SS 92 35 14.

För att studera undergolvets inverkan på golvkonstruktionens värmebehaglighet har ett mindre urval av golvmaterialen även testas med en golvspånskiva som underlag. Vi är speciellt intresserade av skillnaden mellan betongunderlag och ett underlag som motsvarar ett träbjälklag. Skillnaden i uppmätt värmeavledning mellan golvspånskiva och de tidigare redovisade testerna med betongunderlag redovisas i Figur 9. För samtliga testade golvmaterial sker ingen signifikant förändring av Q_1-värdet då underlaget förändras. Iakttagelsen från mätningarna visar att Q_1-värdet beror på de termiska egenskaperna för det översta skiktet i golvet, egenskaperna djupare ner i golvet påverkar inte värmeavledningen under så korta perioder som 1 minut.

Framför allt påverkar underlaget värmeavledningen under 10 minuters termisk kontakt för de tunnare golven (3* och 4*). Vi ser t ex att Q_{10} för 2 mm linoleum (4) förbättras avsevärt då spånskivans egenskaper inverkar på 10 minuters värdet, se Q_{10} för material 4*. Linoleum limmat på spånskiva (4*) motsvarar uppbyggnaden av material 6 (2 mm linoleum på HDF-skiva) vilket även mätningarna av värmeavledningen visar, se Figur 9. För 14 mm ekparkett (10) påverkas inte Q_{10}-värdet av undergolvet. Varken flytande förläggning på golvfoam ovanpå golvspånskivan (10*) eller limning direkt mot betongen (10**) resulterar i någon signifikant förändring av Q_{10} jämfört med den ursprungliga mätningen med golvfoam på betongunderlag (material 10).



Figur 9 Jämförelse av uppmätt värmeavledning (Q_1 och Q_{10}) för olika golvunderlag för ett mindre urval av undersökningens golvmaterial. 22 mm golvspånskiva (3*, 4*, 9* och 10*), självbärande (15*) eller direkt på betongunderlaget utan golvfoam (10**). Mätpunkter (3, 4 ,6, 9, 10 och 15) från Figur 8 är inkluderade i figuren för att kunna jämföra med betong underlag (enligt SS 92 35 14).

1.5 Klassificering av golvmaterial

I den tidigare (upphävd 1996-01-04) svenska standarden SS 92 35 51 (SIS, 1988) redovisas en klassificering av golvmaterials värmebehaglighet i en skala från 3 till 8. Klassificeringen görs dels för Q_1 och dels för Q_{10}, se Tabell 4. Klass 8 är de golvmaterial som har den bästa/högsta värmebehaglighet – klass 3 den lägsta/sämsta. Tidigare har Schüle, von W. och Jenisch, R. (1960) publicerat ett förslag till klassificering av golvmaterial, se Tabell 5. Utifrån Schüle, von W. och Jenisch, R. (1960) utfaller en klassificering av de provade golvmaterialen (med hänsyn till metodens mätosäkerheten på 5 %) enligt redovisningen i Tabell 6.

Tabell 4 Klassificering av golvmaterials värmeavledning vid beröring enligt den upphävda svenska standarden SS 92 35 51 (SIS, 1988).

Klass	Q_1 [kJ/m^2]	Q_{10} [kJ/m^2]
3	> 65	> 450
4	(50) – 65	(325) – 450
5	(38) – 50	(225) – 325
6	(28) – 38	(150) – 225
7	(21) – 28	(100) – 150
8	< 21	< 100

Tabell 5 Förlag till en klassificering av golvbeläggningars värmebehaglighet på grundval av mätningar med en konstgjord fot, publicerade av Schüle, von W. och Jenisch, R. (1960).

Betyg	**Q_1 [kJ/m^2]**	**Q_{10} [kJ/m^2]**
”God värmebehaglighet”	< 38	< 190
”Tillräcklig värmebehaglighet”	38 – 50	190 – 290
”Inte tillräcklig värmebehaglighet”	50 – 63	290 – 400
”Kallt för fötter”	> 63	> 400

Tabell 6 Klassificering av de testade golvmaterialen av Schüle, von W. och Jenisch, R. (1960) (med hänsyn till mätosäkerheten).

Betyg	**Testade golvmaterial**
”God värmebehaglighet”	7, 15, (24)
”Tillräcklig värmebehaglighet”	3, 3*, 9, 9*, 10, 10*, 10**, 11, 12, 13, 14, 16, 18
”Inte tillräcklig värmebehaglighet”	1, 2, 4, 4*, 5, 6, 8, 17, 19, 20, 22
”Kallt för fötter”	21, (23)

2 Optimal golvtemperatur för fotkomfort

Förutom golvmaterialens värmeavledning påverkas fotkomforten av ett flertal andra faktorer, t ex golvmaterialets temperatur. Den optimala golvtemperaturen är den temperatur vid vilken minst antal personer är missnöjda med fotkomforten.

2.1 Komfortstudie av Olesen (1977)

Vid en serie av experiment, utförda av Olesen (1977), undersöktes hur en grupp försökspersoner värderar fötternas termiska komfort då en rad olika faktorer som klädsel, golvtemperatur, golvmaterial, exponeringstid och aktivitet varieras. Sammanfattat är slutsatserna från Olesens undersökning:

- Klädseln har ingen signifikant inverkan på försökspersonernas bedömning av den optimala golvtemperaturen. Det finns heller ingen signifikant inverkan beroende på om försökspersonerna bär bomullssockar eller har bara fötter.

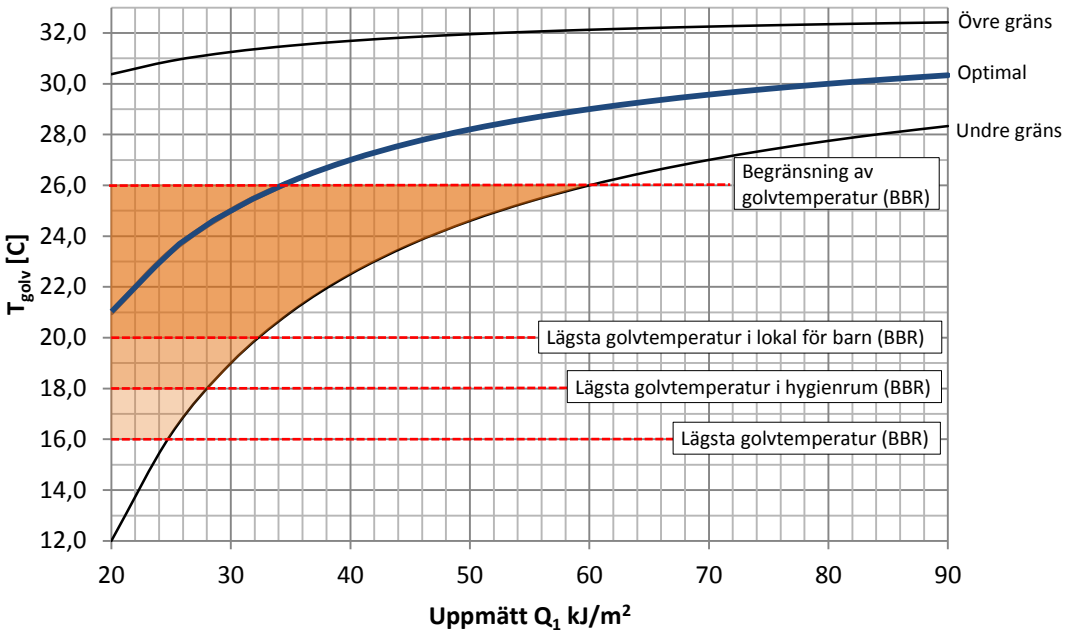
- Det är en skillnad mellan om försökspersonen sitter eller står, stående personer upplever att den optimal golvtemperatur är 1 °C lägre än sittande personer.

- Fötternas exponeringstid på golvet inverkar på upplevelsen. För golv med samma värmeavledning upplever försökspersonerna att den optimala golvtemperaturen är 1,1 °C lägre efter 10 minuters exponering jämfört med värderingen efter 1 minuts exponering.

Utifrån experiment med försökspersoner (Olesen, 1977) uppskattas den optimala golvtemperaturen för en lackad ekparkett vara 26,6 °C respektive 25,5 °C för 1 respektive 10 minuters exponering för stående personer med helt bara fötter. För en rå betong, som är en bättre värmeavledare, krävs en högre golvtemperatur för att uppnå optimal fotkomfort (minst antal missnöjda) – 28,3 °C respektive 27,2 °C. Olesen bestämde även de två golvmaterialens värmeavledning med en artificiell fot enligt standard DN 52614 (vilket motsvarar SS 92 35 14). Genom att kombinera resultaten från värmeavledningen med försökspersonernas bedömning av fotkomforten kan ett samband mellan den uppmätta värmeavledningsförmågan och den optimala golvtemperaturen fastställas, se Figur 10. Figuren inkluderar även en övre och undre komfortgräns för golvtemperaturen. Inom intervallet är maximalt 10 % missnöjda med fotkomforten.

Figur 10 visar att ju bättre värmeavledare golvmaterialet är desto:

- högre golvtemperatur krävs för att uppleva en acceptabel fotkomfort
- snävare är golvtemperaturintervallet inom vilket maximalt 10 % är missnöjda med fotkomforten



Figur 10 Samband mellan uppmätt värmeavledning från artificiell fot (enligt SS 92 35 14) och den optimala golvtemperaturen (2 % missnöjda). Övre och undre gräns anger intervallet inom vilket maximalt 10 % är missnöjda med fotkomforten. Sambanden mellan optimal golvtemperatur och värmeavledning gäller för stående, barfota personer värderat efter 1 min (Olesen, 1977). De färgmarkerade områdena begränsas av 10 %-linjen samt allmänna råd i BBR 19 rörande golvets yttemperatur.

2.2 Vilka golvtemperatur kan man förvänta sig?

Den optimala golvtemperaturen är enligt Olesens försök högre än vad Boverkets byggregler (Boverket, 2011) anger som lägsta godtagbara nivå för golvets yttemperatur, se Figur 10. Enligt de allmänna råden i BBR 19 bör byggnaden utformas så att golvtemperaturen lägst förväntas bli +16, +18 eller +20 °C beroende på rummets funktion. Ett allmänt råd i BBR 19 är att byggnaden bör utformas så att golvtemperaturen kan begränsas till maximalt +26 °C. Golvtemperaturen kan vara högre än +26 °C vilket kan krävas för att uppnå önskad operativ temperatur i rummet, speciellt i rum med större värmebehov eller rum med aktivitet som kräver en högre operativ temperatur (t ex badrum, omklädningsrum). Dock får aldrig en förhöjd temperatur till följd av golvvärme ge upphov till skador i golvmaterialet (dimensionsförändring, sprickbildning, kupning, skålning etc.). För golvmaterial av trä är rekommendationen att yttemperaturen under uppvärmningssäsongen inte får överstiga +27 °C med hänsyn till trägolvets beständigheten (Golvbranschen, 2005).

Är golvets yttemperatur begränsad till maximalt +26 °C (enligt det allmänna rådet i BBR 19) kan golvmaterial med en värmeavledning högre än 60 kJ/m^2 (Q_1) aldrig uppfylla intervallet inom vilket maximalt 10 % är missnöjda med fotkomforten, se Figur 10. Däremot finns det ingen risk att överskrida 10 %-intervallet (angiven av Figur 10) med maximalt +26 °C golvtemperatur. För att i möjligaste mån tillfredsställa behovet av en komfortabel golvtemperatur krävs relativt höga temperaturnivåer på golvet. För välisolerade bostäder med låga värmebehov uppnås inte denna temperaturnivå även om enbart golvvärme används som uppvärmningssystem. Detta är ett ”dilemma” mellan golvmaterialets beständighet, fotkomfort och byggregler.

Ett rum som inte värms med golvvärme kommer utan tvivel att ha en lägre golvtemperatur än om rummet värms med golvvärme. Golvets yttemperatur beror då på ett flertal faktorer: särskilt utetemperaturen (om golvet utgör en del av klimatskärmen mot uteklimat), golvkonstruktionens värmegenomgångskoefficient, rummets innetemperatur, ventilationsprincip samt luftläckage och förekomst av köldbryggor. För välisolerade lågenergihus är golvet både välisolerat och klimatskärmen lufttät. Golvets temperatur är i detta fall relativt nära rummets operativa temperatur – temperaturfördelningen i rummet är relativt jämn tack vare det välisolerade klimatskalet.

Ser vi på ett rum enbart uppvärmt med golvvärme bestäms golvtemperaturen av ovanstående faktorer men även av rummets värmebehov. För varje grads övertemperatur på golvytan jmf. med rummets operativa temperatur är värmeflödet som balanserar rummets värmeförluster cirka 9-11 W/m^2 från golvytan (överslagsmässigt beräknat). Alltså ger golvtemperaturen +26 °C (rekommenderad begränsning i BBR) ett dimensionerande värmeflöde på maximalt 55-65 W/m^2 (golvyta) vid en önskad innetemperatur på +20 °C. För rum med ett högre dimensionerat effektbehov krävs annan uppvärmning i rummet som komplement till golvvärmen (eller en högre golvtemperatur). Rum/byggnader med relativt stora värmebehov får alltså en högre golvtemperatur och därmed en högre fotkomfort när den som bäst behövs under vintern.

För lågenergihus med ett dimensionerande effektbehov i storleksordningen 10-20 W/m^2 (golvyta) är golvets övertemperatur endast 0,9-2,2 °C högre än innetemperaturen. Detta teoretiska temperaturintervall stämmer väl överens med vad som har uppmätts i ett försöksrum vid ett effektbehov på 12,9 W/m^2 (Karlsson och Ståhl, 2012). Dessutom inträffar denna övertemperatur endast under kortare tidsperioder då utetemperaturen närmar sig den dimensionerande vinterutetemperaturen (DVUT) eller när internvärmeintensiteten är låg. Under långa perioder råder inget värmebehov och golvet behöver då inte värmas. För lågenergihus med golvvärme kan vi alltså inte räkna med att golvtemperaturen är avsevärt mycket högre än motsvarande lågenergihus med en annan uppvärmning (radiator, luftvärme etc.). Fotkomforten är däremot något högre när ett värmebehov föreligger jämfört med en annan uppvärmningsform.

Referenser

Boverket (2011). *Boverkets byggregler, BBR 18, BFS 2011:6*.

Golvbranschen, GBR (2005). *Trägolv på golvvärme*. (utgåva 2).

Karlsson, H. och Ståhl, F. (2012). *Termisk komfort i lågenergihus och passivhu*s. SP Rapport 2012:13. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Olesen, B.W. (1977). Thermal Comfort Requirements for Floors Occupied by People with Bare Feet. *ASHRAE Transactions*, 83: 41-57.

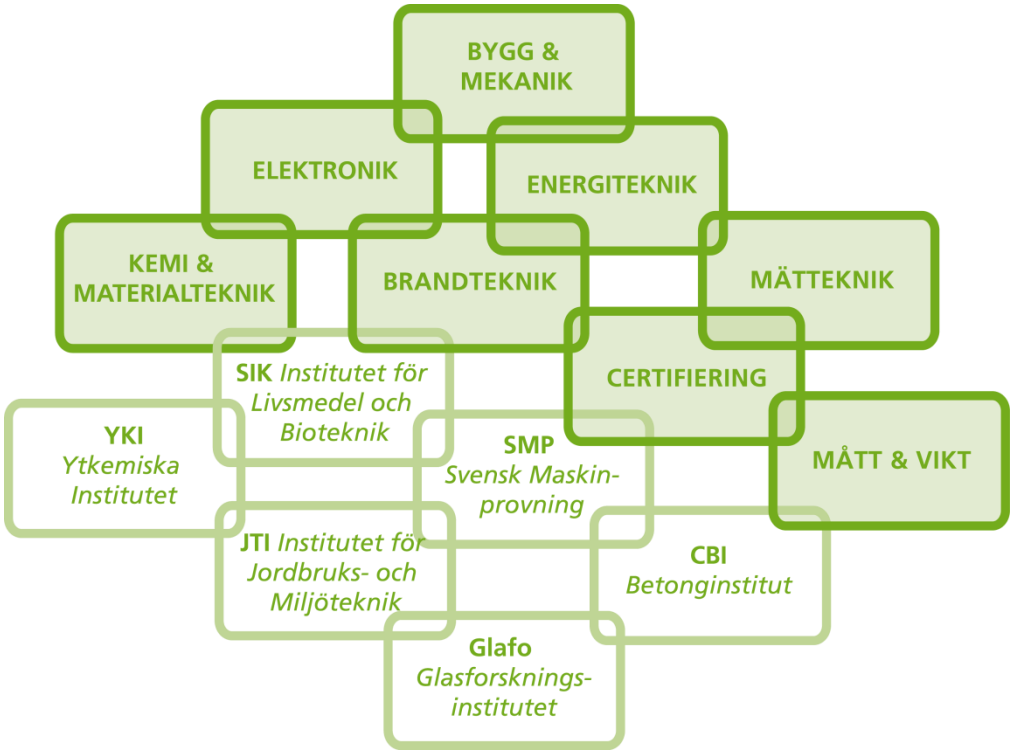
Schüle, von W. och Jenisch, R. (1960). Messverfahren zur Bestimmung der Wärme-ableitung von Füssboden. *Allg. Wärmetechnik*, Band 9 H. 4/5, 89-91.

SIS (1988). *SS 92 35 51. Golvmaterial – Klassificering*. Svensk standard. (upphävd 1996-01-04)

SIS (2005). *SS 92 35 14. Golvmaterial - Bestämning av värmeavledning vid beröring*. Svensk standard.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 9000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02
E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se
www.sp.se

Energiteknik
SP Rapport 2011:57
ISBN 978-91-86622-87-9
ISSN 0284-5172

Mer information om SP:s publikationer: **www.sp.se/publ**