

Peter Roots

En litteraturstudie om golv- värme

SP AR 2002:04
Energiteknik
Borås 2002

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	2
Sammanfattning	3
1 Inledning	5
2 Orientering om golvvärme	6
2.1 Förläggning	6
2.2 Värmetransport	8
2.3 Fukt	9
2.4 Styr- och reglersystem	11
3 Sammanfattning referenser - diskussion	14
3.1 Värmeförlust	14
3.2 Fukt	15
3.3 Styr- och reglerstrategier	16
3.4 Övrigt	17
4 Framtida forskningsbehov	18
5 Referenser	19
5.1 Värmetransport	19
5.2 Fukt	44
5.3 Styr- och reglerstrategier	46
6 Isolertjocklek radiator – golvvärme	50
7 Energibesparing golvvärme – radiator	52
8 Värmefflödestäthet	56

Sammanfattning

En debatt om golvvärmens för- och nackdelar har pågått och pågår i Sverige. Olika ståndpunkter har framförts med avseende på energianvändning och fuktfrågor. Det som gav upphov till denna debatt var en rapport av Harrysson C, 1997. Han framförde åsikten att energianvändningen blir minst 30 % högre med golvvärme. Hans slutsatser baseras på erhållna mätresultat av total energianvändning i småhus uppvärmda med radiator resp golvvärme. Utöver detta har han hävdad att det finns risk för höga fuktnivåer i grunder med golvvärme; dock har han inte belagt detta med några mätresultat eller beräkningar.

Branschen har i motsats till Harrysson hävdad att golvvärme medför en energibesparing. Man kan i olika reklamskrifter se att energibesparingen kan vara upp till 12 %, under förutsättning att inomhustemperaturen sänks med 2 °C. Slutsatsen baseras bl a på genomförda mätningar i Danmark.

Båda sidor hävdar med bestämdhet att de har rätt, men har de det? Syftet med denna rapport är att sammanställa befintlig kunskap inom ämnet golvvärme och om möjligt ge svar på frågorna kring energianvändning och fuktfrågor. Studien har indelats i olika kategorier på följande sätt:

- Värmeförlust
- Styr- och reglerstrategi
- Fuktinverkan

Det framgår av flera oberoende studier att golvvärme - jämfört med traditionell uppvärmning med radiator - medför en högre värmeförlust till underliggande mark. Studierna visar att värmeförlustens storlek bl a beror på värmeisoleringens tjocklek i grunden. I USA har ett flertal fältstudier genomförts i byggnader med platta på mark och golvvärme. Undersökningarna syftade i första hand till att studera hur grunden bör isoleras för att erhålla ett energieffektivt system. De rekommenderar att grunden enbart skall isoleras i randzonerna.

I Danmark har omfattande studier av golvvärme genomförts. Wit, J et. al. konstaterade att värmeförlusten genom ett bjälklag med golvvärme är högre jämfört med värmeförlusten genom en likadan grund utan golvvärme. Olesen B visar i sina undersökningar att skillnaden i uppmätt uppvärmningsbehov för en lägenhet med en yttervägg var mindre än 5 % mellan olika uppvärmningssystem. I mätningarna simulerades golvvärme med en värmefolie som monterats på golvytan utan någon golvbeläggning.

I Sverige har Lood A visat att golvvärme medför en ökad värmeförlust. Han visar också att detta beror på vilken tjocklek värmeisoleringen har i grundkonstruktionen. Roots P har erhållit liknande resultat som Lood. Roots har definierat en faktor, den globala isoleringsverkningsgraden, som kan användas för att beräkna hur stor andel av avgiven värme i golvvärmeslingan som transmitteras till inomhusluften. Roots har också visat att uppvärmningssäsongens längd har inverkan på uppvärmningsbehovet. En månad längre uppvärmningsperiod med golvvärme kan medföra att uppvärmningsbehovet blir 28 % högre vid tunn isolering och ca 21 % vid 300 mm isolertjocklek i grunden. Harrysson C hävdar i ett flertal artiklar att golvvärme innebär att uppvärmningsbehovet blir 30 % högre, oberoende av isolertjocklek i grunden. Hans slutsatser baseras på total uppmätt energianvändning i flera hus med olika egenskaper och olika familjesammansättningar. Analysen av mätresultaten är inte omfattande. Det saknas förklaringar till varför det är en stor skillnad i uppvärmningsbehov mellan hus med radiator och hus med golvvärme. Han jämför t ex uppvärmning med radiator med golvvärme som har olika lång uppvärmningssäsong. Med en månad kortare uppvärmningssäsong med golvvärme skulle detta kunna innebära att skillnaden enbart vara cirka 10 %, istället för de 30

% som Harrysson framför. Då han inte korregerar mätvärdena för olika längd i uppvärmningssäsong är således jämförelsen felaktig. Den korrekta slutsatsen borde vara att resultaten ger indikation på att golvvärme medför högre energianvändning.

Radisch (Danmark) och Norlin har genomfört liknande undersökningar som Harrysson och erhållit liknande resultat. Emellertid är dessa undersökningar också bara sammanställningar av den totala energianvändningen i byggnaderna. Undersökningarna ger ingen förklaring till varför skillnaden i energianvändning mellan uppvärmning med radiator resp golvvärme är så stor.

I Norge har Gundersen P undersökt golvvärme och han hävdar att golvvärme medför en energibesparing som uppgår till 5 %. Värmeförlusten från en grund med golvvärme är större jämfört med en grund utan golvvärme. Hur stor skillnaden är beror till stor del på hur grunden värmeisolerar. Skillnaderna i värmeförlust som erhållits i ovan angivna studier beror på att de genomförts under olika förutsättningar.

Den operativa temperaturen i byggnader med golvvärme är något högre jämfört med byggnader med radiator. Det framgår i många undersökningar att skillnaden är mindre än 1 °C. Man bör dock notera att hänsyn inte tagits till att det varma golvet medför att den termiska inomhuskomforten höjs på grund av att foten upplever en högre temperatur. Fuktförhållanden i grunder som utföres med golvvärme har inte undersökts i någon större omfattning. Nilsson L O har undersökt fuktförhållandena i en platta på mark med en tunn varierande tjocklek av värmeisolering under plattan. Nilsson rekommenderar att använda en plastfolie i breda byggnader när en tunn ånggenomsläpplig värmeisolering används. Elmarsson B har visat att det inte föreligger någon risk för höga fuktnivåer för en konstruktionslösning med 200 mm tjock värmeisolering av EPS. Härutöver finns det ytterligare studier som genomförts som seminarieuppgifter vid CTH som bekräftar ovanstående resultat.

Om styr- och reglersystemet injusterats korrekt bör golvvärmesystemet ha avsedd funktion, vilket framgår i olika undersökningar. Dessa har genomförts i byggnader där väggar och tak har liten värmekapacitet. I Sverige är det vanligt förekommande med framkoppling kombinerat med någon form av återkoppling vid nyproduktion. McCluer förespråkar en annan reglerstrategi, värmeeffektmodulering. Han anser att värmeeffekten bör regleras istället för framledningstemperaturen. Inomhusmiljön blir stabilare med denna strategi, enligt McCluer.

Det framgår av ovanstående att det inte finns entydiga svar på alla frågor kring golvvärme, fukt och energi. Det finns ett antal frågor som bör undersökas vidare för att vi skall kunna konstruera fuktsäkra och energieffektiva grunder utförda med golvvärme.

1 Inledning

Vid ansökan om finansiering av ett golvvärmeprojekt till FORMAS och Energi-myndigheten konstaterades att en litteraturstudie först bör genomföras. Undersökningen syftar till att redovisa en sammanställning av kunskapsläget idag inom ämnet golvvärme. Rapportens innehåll har avgränsats till värmeförluster, fuktfrågor samt styr- och reglerstrategier i grunder som utföres med golvvärme.

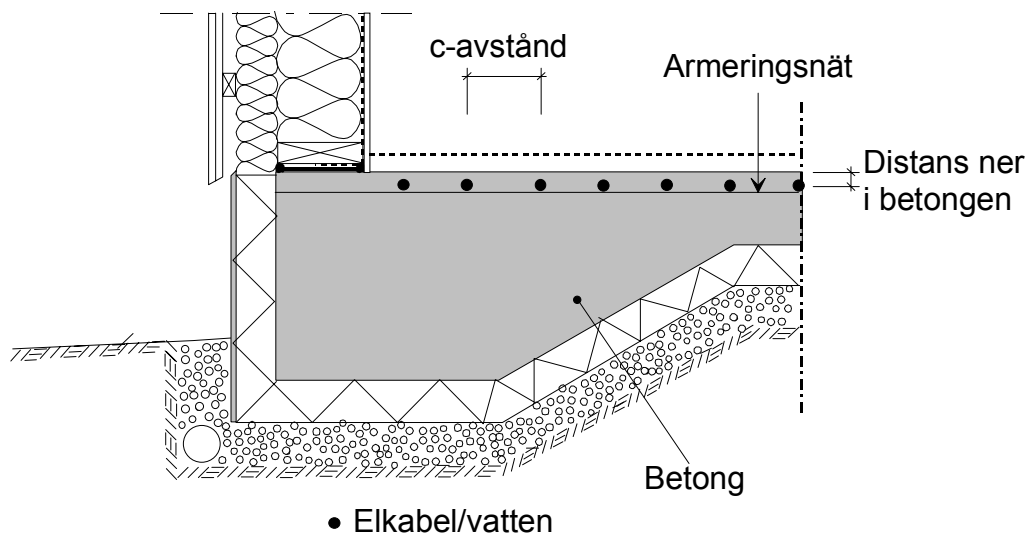
2 Orientering om golvvärme

Nedan beskrivs golvvärme ur olika synvinklar för att underlätta läsning av sammanfattningarna av referenserna.

2.1 Förläggning

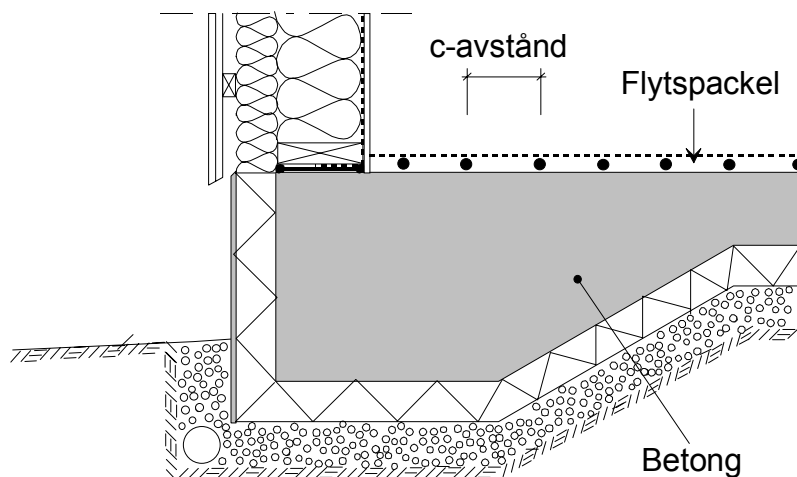
Principen för golvvärme innebär att en byggnad delvis eller helt uppvärms av en värme-källa som avger sin värme i grunden. Golvvärme lämpar sig väl för olika typer av värme-källor som solfångare, vedpannor, värmepumpar etc. Ur miljömässig synvinkel kan det vara fördelaktigt med golvvärme eftersom den kan använda en lågtempererad fluid. Solfångare som värmer vatten och värmepumpar går bra att använda tillsammans med golvvärme på den stora värmeavgivande ytan. Det förutsätter dock att byggnaden inte har högt effektbehov.

Golvvärmen kan monteras i alla typer grunder och det finns olika förläggningssätt. I en platta på mark kan golvvärmeslingan gjutas in i betongplattan. Normalt placeras slingan i överkant av betongplattan, se figur 2.1. Värmebärare utgörs ofta av vatten som strömmar i slingan. Värmekällan kan också utgöras av en elkabel, en så kallad värmekabel.



Figur 2.1. I figuren redovisas principiellt hur värmekablarna kan monteras i en betongplatta.

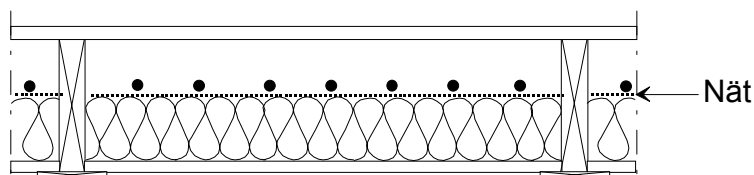
Värmeslingorna kan alternativt läggas ovanpå betongplattans översida. Slingorna gjuts då in i ett flytspackelskikt, vilket kan ses i figur 2.2.



- Elkabel/vatten

Figur 2.2. I figuren redovisas hur värmekablarna monteras ovan på betongplattan i ett skikt flytspackel.

I träbjälklag, till exempel mellanbjälklaget i en kryppgrund, kan värmeslingan läggas ovanpå värmeisoleringen i grunden, se figur 2.3.

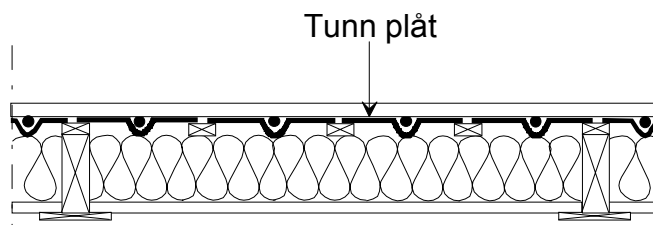


- Elkabel

Figur 2.3. I figuren redovisas hur värmekablarna kan monteras i ett mellanbjälklag i en kryppgrund.

När värmefolie används så täcks hela eller en del av golvytan av folien. Folien klistras oftast fast på grundens golvyta. Eftersom värmefolien täcker hela golvytan erhålls en jämnt fördelad värmeavgivning och en jämn ytemperatur på golvetts inneryta. Värmefolierna avger normalt en värmeeffekt som varierar mellan 50 och 120 W/m².

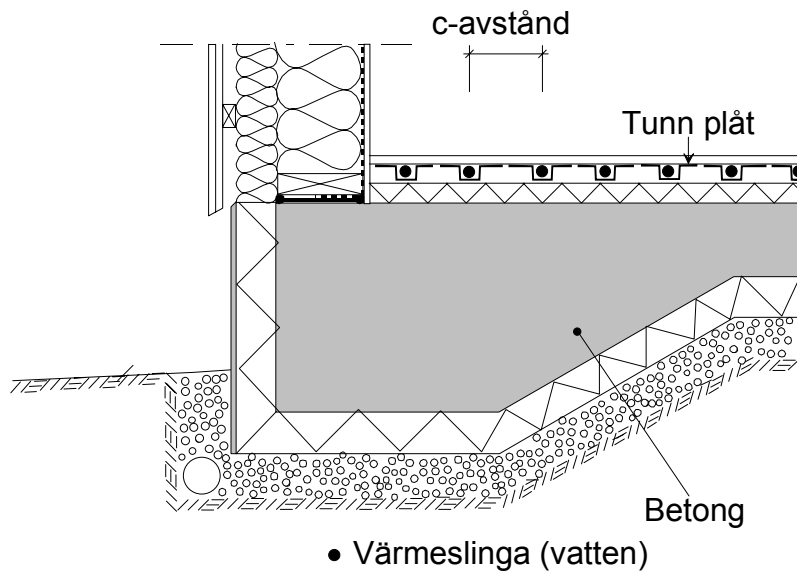
I Figuren 2.4 redovisas hur man kan montera värmeslingan i ett träbjälklag. Värmeslingan läggs i tunna plåtar för att temperaturen skall bli jämn på golvytan.



- Värmeslinga (vatten)

Figur 2.4. Golvvärme i ett träbjälklag. Plåten monteras för att jämn ytemperatur skall erhållas.

I ett flytande golv, se figur 2.5, läggs värmeslingan i cellplast med ursparing. Ovanpå slingan läggs golvbeläggningen.



Figur 2.5. Golvvärme som utföres med flytande trögolv. I värmeslinga strömmar vatten. Plåten monteras för att en jämn ytemperatur skall erhållas.

När luft utgör värmebärare monteras värmeslingan i princip på samma sätt som när vatten är värmebärare. Det är dock en liten skillnad. När luft används bör en större rördimension användas jämfört med vatten för att minska lufthastigheten i rören och därmed risken för buller. En fördel med luft jämfört med vatten som värmebärare är att om läckage uppstår föreligger det ingen risk för fuktskador.

2.2 Värmetransport

Värmeförlusten till underliggande mark från en grund som utföres med golvvärme är alltid högre jämfört med värmeförlusten från samma grund utan golvvärme. Den enkla förklaringen till detta är att grunden med golvvärme har en högre temperatur jämfört med en grund utan. Detta medför, självklart, att värmeförlusten blir högre med golvvärme. Det är lika naturligt som att om grunden är väl värmeisolerad kommer värmeförlusten till marken att bli mindre. Det föreligger ofta ett missförstånd angående vilket värmemotstånd underliggande mark har. Man tror ofta att underliggande mark utgör ett stort värmemotstånd. För ett normalt enfamiljshus motsvarar markens värmemotstånd kring 60 till 70 mm tjock värmeisolering. I en byggnad där ytterväggarna värmeisolerats med 240 mm, taket med 400 mm värmeisolering och grunden med 50 mm sker den enskilt största transmissionsförlusten genom grunden.

Hur stor är värmeförlusten genom grunden med golvvärme i förhållande till en grund utan? Vilka faktorer påverkar detta och hur kan den extra värmeförlusten beräknas? Svaret på frågorna ges av den så kallade *globala isolerverkningsgraden*. Den anger hur stor andel av värmeeffekten från golvvärmesystemet som transmitteras till inomhusmiljön. Definitionen av globala isolerverkningsgraden innebär att en radiator har isolerverkningsgraden 1 inomhus, d v s all värme avges till inomhusmiljön. Om radiatoren istället finns utomhus tillförs inomhusluften inget värme, då är isolerverkningsgraden lika med noll. Golvvärme ligger mellan dessa ytterligheter. Man kan säga att radiatoren är monterad inuti grunden. Normalt har golvvärme en isolerverkningsgrad som ligger inom intervallet 0,89 till 0,96 beroende på underliggande värmeisolerings tjocklek.

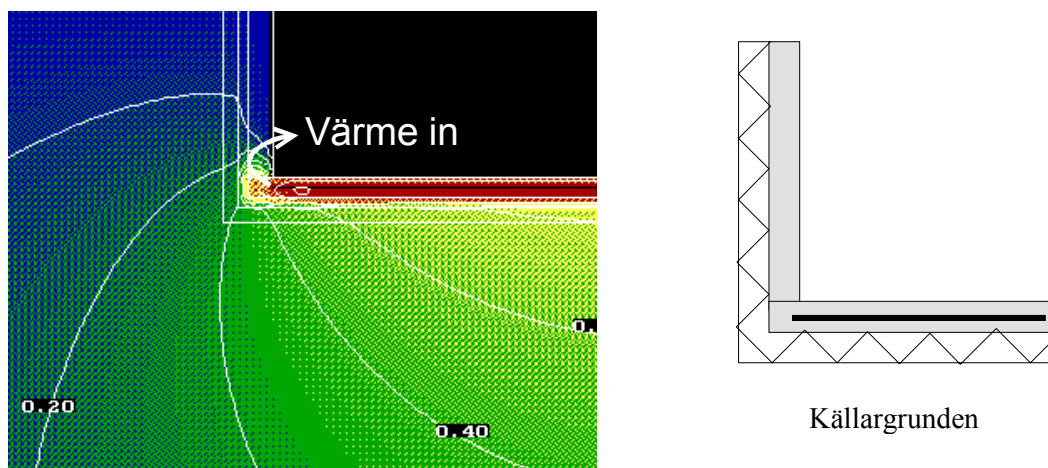
Andra faktorer som påverkar värmeförlusten är:

- Styr- och reglersystemet. Om golvvärmesystemet är bristfälligt injusterat kan det medföra att medeltemperaturen i plattan höjs onödigt mycket under uppvärmningssäsongen, vilket bl a leder till en högre energianvändning.
- Förtätning av värmeslingorna. Med golvvärme brukar slingorna läggas tätare vid ytterväggen under ett fönster för att motverka kallras. Dessvärre ökar värmeförlusten på grund av förtätningen, vilket orsakas av att den lokala isoleringsverkningsgraden är låg vid kantbalken.
- Golvvärme i flerbostadshus. Om värmeslingan monteras i mellanbjälklaget kan det medföra att lägenheterna inte får erforderlig värmeeffekt. Det framgår av isolerverkningsgraden att värmeeffekten i värmeslingan kommer att fördelas i förhållande till värmemotståndet över respektive under slingan. Om värmeslingan ligger mitt i mellanbjälklaget kommer hälften av värmeeffekten att tillföras till inomhusmiljön över och resterande del till underliggande lägenhet.

2.3 Fukt

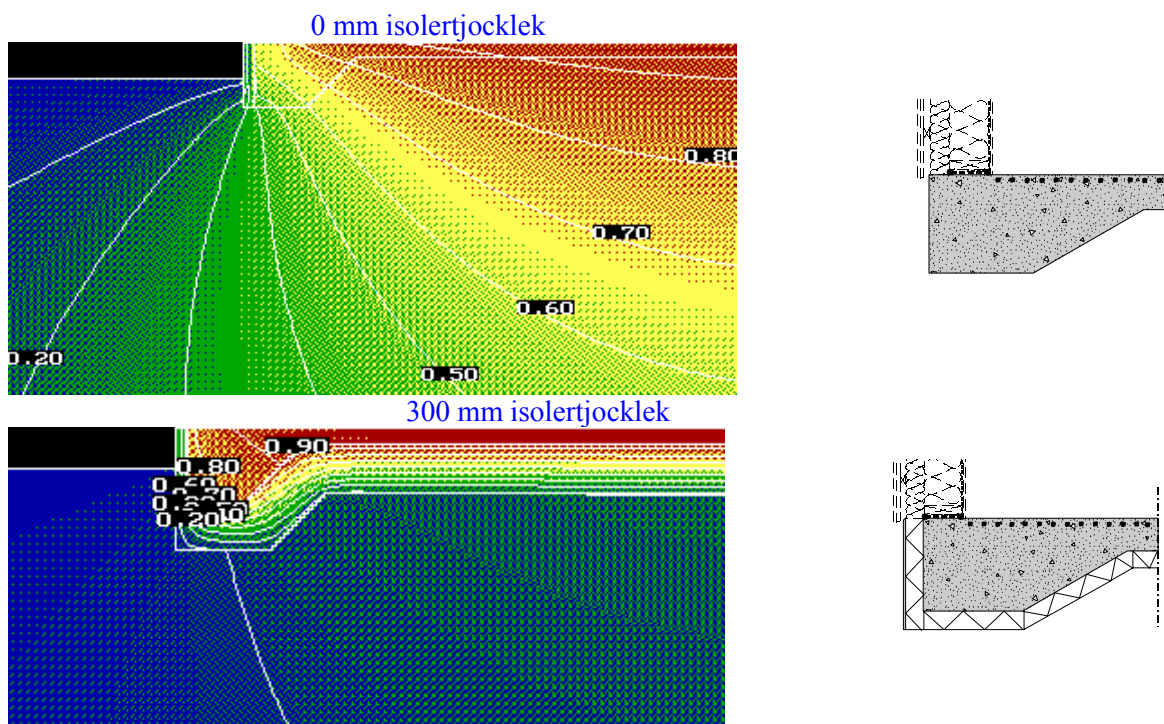
Fukt är en viktig faktor att ta hänsyn till vid utformning av en byggnad. Om fuktskador uppträder kan det medföra att omfattande reparationer får genomföras till en hög kostnad. Hög fukthalt i byggnadsmaterial kan också leda till att de avger mer eller mindre skadliga emissioner till inomhusluften, som kan medföra att de boende får hälsoproblem, ”sick building syndrome”.

Med golvvärme i en grundkonstruktion påverkas det byggnadsfysikaliska tillståndet väsentligt. Den varma grunden har en förmåga att torka ut fukt och detta måste beaktas när grunden projekteras, framförallt vid renovering. Det är ett känt faktum inom fuktmekaniken att värme förflyttar fukt eller som man uttrycker det ”torkar ut fukten”. Eftersom golvvärme värmer upp grunden medför det att fukt förflyttas från grunden till omgivningen, till exempel till inomhusluften eller anslutande byggnadsdelar. Golvvärmens förmåga att förflytta fukt måste beaktas, särskilt vid renovering, vilket annars kan leda till höga fuktnivåer i byggnadsdelar. Genom att studera temperaturfördelningen i en grund kan fuktflödets riktning bedömas. Ett exempel på detta är om man lägger in golvvärme i en källare med tunn grundisolering. Fukttransport genom fuktdiffusion sker från den varma marken under golvet i riktning mot fallande temperatur. Detta innebär att fuktnivån kan bli hög i omgivande byggnadsdelar. Vi visar detta med ett exempel. Temperaturfördelningen i en källare har simulerats med beräkningsprogrammet HEAT2, (Thomas Blomberg 1991). Isolertjockleken är 100 mm i vägg och i grund. Det framgår av figur 2.6 att det sker en värmetransport från golvet genom väggen till insidan. Det finns således risk för att väggen uppfuktas. Man bör dock påpeka att om marken under grunden är torr, så minskar problemet.



Figur 2.6. Temperaturfördelningen i en källare med golvvärme har simulerats med programmet HEAT2, Blomberg 1991. Värme från golvvärmesystemet tillförs rummet genom väggarna. Detta innebär att det finns risk för att väggen uppfuktas. Siffrorna och färgskalorna anger temperatur.

Golvvärme kan också orsaka s k omvänd fuktransport. Det innebär att när golvvärmen slås av på våren så kan plattan bli kallare än den underliggande marken. Detta kan medföra en fuktransport från marken till plattan. Problemet kan dock reduceras genom att isolera grunden väl, d v s reducera uppvärmningen av marken. Det framgår i figur 2.7 nedan där temperaturfördelningen i en platta på mark som har 0 och 300 mm isolertjocklek teoretiskt simulerats med HEAT2. Resultaten visar att marken har betydligt lägre temperatur vid tjock isolering, vilket innebär att risken för omvänd fuktransport reducerats. Vid ökad isolertjocklek bör tjälrisken dock beaktas om grunden uppförs på tjälfarlig mark.



Figur 2.7. Simulerad temperaturfördelning i en platta på mark med golvvärme för en oisolerad grund och en med 300 mm tjock isolering. Siffrorna och färgskalorna anger temperatur.

Under uttorkningsskedet kan det bli kondens i isoleringen vid tjocka isoleringar. Det framgår av figurerna ovan. Temperaturskillnaden mellan värmeisoleringens ovan- respektive undersida är stor och detta kan medföra kondensutfällning i värmeisoleringen. Emellertid kommer fukten i värmeisoleringen att torka ut vid fortvarighet. Andra faktorer som påverkar fuktförhållandena i grunden är :

- Värmeisoleringens ångmotstånd
- Om golvvärme enbart finns på delar av golvytan; då kan fukt förflyttas till de kalla delarna av golvet
- Grundens bredd. I mycket breda byggnader kan temperaturdifferensen mitt i plattan över värmeisoleringen vara liten på grund av att jordens värmemotstånd är stort. Det finns olika alternativa lösningar och exempel på sådana är: Golvvärme kan vara påslagen året om, men uppvärmningsbehovet blir då stort. En ångspärr kan läggas ut under värmeisoleringen i delar av grunden. Ett material som är ångtätt och som tål höga fuktnivåer kan appliceras på golvytan. Epoxi är ett exempel på ett sådant material.

I kryppgrunder är förhållandena annorlunda jämfört med källare och platta på mark. Luftvolymen och schaktgrunden i kryppgrunden blir varmare p g a värmeförlusterna från golvvärmen, vilket kan vara positivt ur fuktsynpunkt. Den relativa fuktigheten i luftvolymen i kryppgrunden kan bli något lägre.

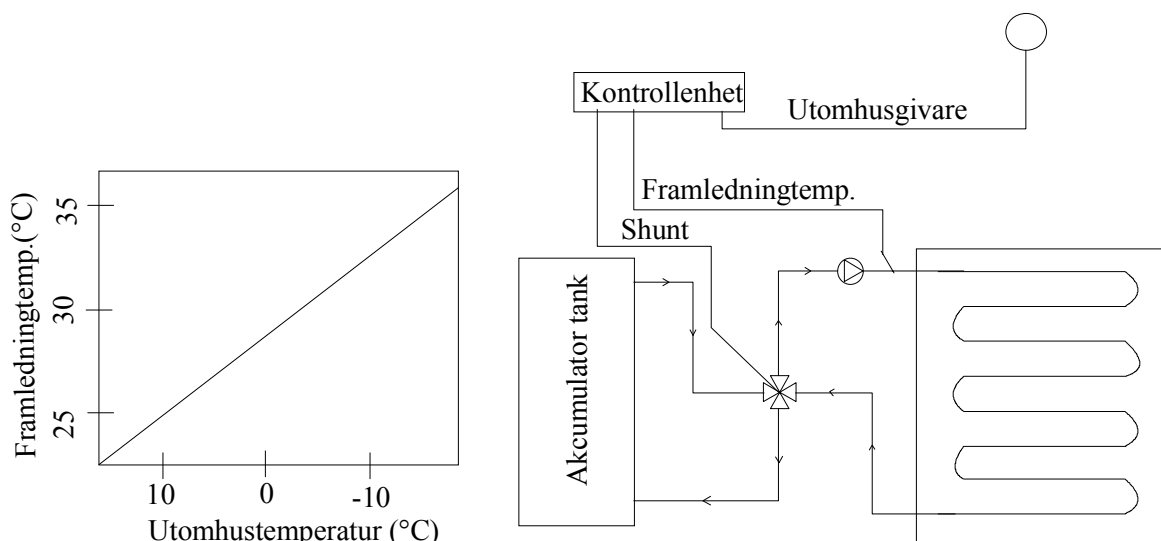
2.4 Styr- och reglersystem

Styr- och reglersystem utgör en viktig del av byggnaden som system. Dess funktion är att säkerställa att önskat inomhusklimat erhålls. Det finns olika styr- och reglerstrategier och några av dessa beskrivs nedan översiktligt.

Vilken styr- och reglerstrategi som används beror på många faktorer som byggnaden, typ av byggnad, tillverkningsindustri eller bostad, aktivitet etc. Här redovisas en översikt av strategier som kan användas i samband med golvvärme:

- Framkoppling
- (Framkoppling med) central återkoppling
- Värmeeffektmodulering

Framkoppling innebär att framledningstemperaturen är en funktion av utomhus-temperaturen, se figur 2.8. Ett problem med denna lösning är hur olika värmelaster, externa och interna, hanteras av systemet. Om utomhusgivaren placeras på ett solskyddat ställe, vilket oftast rekommenderas, kommer framledningstemperaturen vara densamma oavsett om det sker solinstrålning eller inte. Det kan finnas risk för övertemperaturer och detta medför högre värmeförluster, särskilt om de boende vädrar bort värmen. Ett alternativ kan vara att utomhusgivaren monteras på ett soligt ställe. Då minskar framledningstemperaturen samtidigt som byggnadens värmetröghet kan motverka en sänkning av inomhustemperaturen.

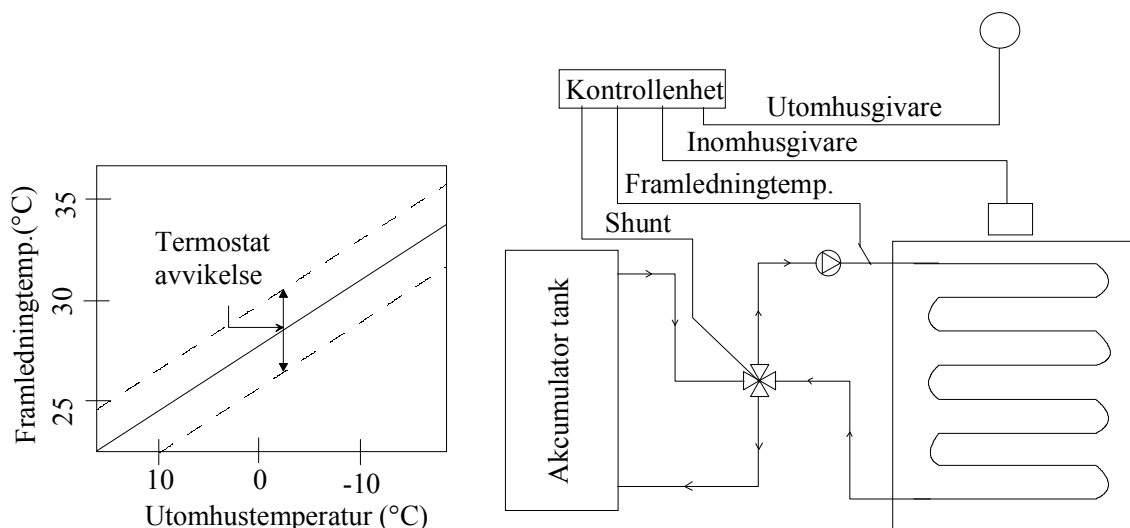


Figur 2.8. Principskiss av uppbyggnaden av styr- och reglerprincip med framkoppling.

Framkoppling med central återkoppling innebär att en termostad används för att styra framledningstemperaturen, se figur 2.9. Det finns enbart en inomhusgivare i byggnaden som är placerad på en representativ plats. Termostaten kan ha flera funktioner men här redovisas två typer:

- Anpassning av framledningstemperaturen
- On/Off reglering av vattenflödet i slingan.

Anpassning av framledningstemperaturen innebär att kurvan för framledningstemperaturen parallellförflyttas efter termostadens regleravvikelse, se figur 2.9.



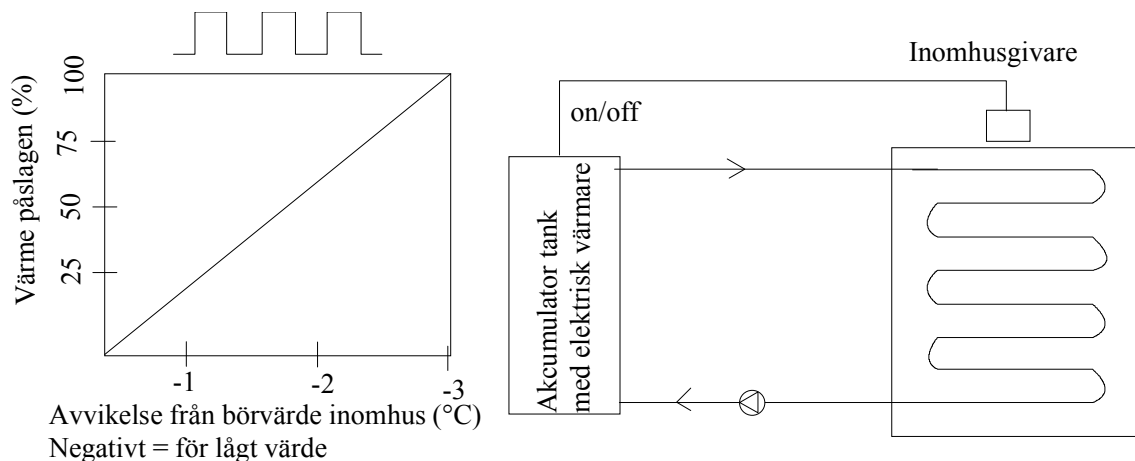
Figur 2.9. Principskiss av uppbyggnaden av styr- och reglerprincip med framkoppling med central återkoppling (termostad).

Termostad med On/Off reglering, vilket är vanligt förekommande, innebär att vattenflödet är lika med noll eller max. Termostaten skickar signaler till en motor (ställdon) i shunten som styr ventilen så att erforderlig inomhustemperatur erhålls. Om inomhustemperaturen understiger börvärdet öppnar ventilen igen. Det är en så kallad On/Off reglering.

Värmeeffektmodulering innebär att tillförd värmeeffekt i pannan motsvarar värmeförlusten i slingan. I praktiken är det en On/Off reglering av värmeeffekten i pannan. Om

termostaten t ex ger en signal att inomhustemperaturen är tre grader lägre än börvärdet innebär det att värme tillförs kontinuerligt till pannan, se figur 2.10. Om inomhustemperaturen är 1,5 grader lägre än inomhustemperaturen innebär detta i exemplet att värmeeffekt kommer att avges till pannan under 50 % av ett tidsintervall eller pulstid.

Reglerstrategien kan medföra problem om rumsreglering efterfrågas. Då bör systemet utformas med shuntar etc. Systemet kommer att likna framledning med fördelning, det blir inte billigare. Fördelen med detta system är att det är billigt på grund av att det används färre detaljer, t ex saknas shunt etc.



Figur 2.10. Värmeeffektmodulering.

De olika styr- och reglerprinciperna har olika inverkan på uppvärmningsbehovet. Det finns svårigheter att hitta styr- och reglerstrategier i samband med byggnadens termiska tröghet. I tunga byggnader är den termiska trögheten stor, vilket medför att svarstiden blir lång vid en förändring. Det innebär till exempel att när styr- och reglersystemet skall förändra inomhusklimatet genom att tillföra värme eller kyla till byggnaden tar det lång tid innan önskat inomhusklimatet erhålls. I lätta byggnadskonstruktioner är svarstiden kortare, varför det är lättare att kontrollera inomhusklimatet.

Byggnadens termiska tröghet kan också påverka uppvärmningsbehovet. Långa svarstider kan medföra att höga inomhustemperaturer erhålls vid andra värmetillskott till inomhusluften, t ex vid solinstrålning. Då förändras inte inomhustemperaturen hastigt, utan den stiger långsamt. Detta kan medföra att värmesystemet fortsätter att leverera värme trots värmetillskottet. En övertemperatur inomhus kan då erhållas, med extra värmeförlust p g a vädring, extra ventilations- och transmissionsförluster etc.

Med termostat i rummet, eller flera rum, kan problemet med enbart framåtkoppling reduceras. Termostaten känner av inomhustemperaturen och anpassar framledningstemperaturen eller stryper vattenflödet i värmeslingan.

I detta sammanhang kan man nämna prognosstyrning. Principen innebär att klimatet är känt i förväg (vädret prognostiseras). Principen bygger på att vädret kan förutsägas, dock visar erfarenheten att detta kan vara svårt. Principen kan också vara bristfällig om det förekommer kraftiga interna lastvariationer. Då krävs även återkoppling för att erhålla önskat inomhusklimat.

3 Sammanfattning referenser - diskussion

Referenserna har indelats i vämetransport, fukt, styr- och reglerstrategier. Uppdelningen är egentligen inte korrekt eftersom de beror på varandra. Referenserna sammanfattas kortfattat i kapitel 5.

Nedan sammanfattas referenserna och resultaten diskuteras. Därutöver sammanställs olika frågor om golvvärme som inte undersökts i referenserna.

3.1 Värmeförlust

I referenserna i kapitel 5 finns olika åsikter om golvvärme och värmeförlust från den. Olesen B har genomfört omfattande studier i laboratorium där olika uppvärmningssystem har undersökts med avseende på uppvärmningsbehov och termisk inomhuskomfort. Av resultaten framgår det att skillnad i operativ temperatur mellan systemen är liten och att skillnaden i uppvärmningsbehov mellan uppvärmningssystemen är mindre än 5 %. Mätningarna har genomförts i ett klimatrums med en yttervägg. Golvvärme har simulerats genom att applicera en värmefolie på golvytan och grunden utgörs av ett träbjälklag, med liten värmekapacitet.

Undersökningar i Danmark och Sverige (Radisch, Norlin och Harrysson) visar att golvvärme medför att den totala energianvändningen i enfamiljshus med golvvärme är cirka 30 % högre än i andra jämförbara hus. Att det blir högre värmeförluster från grunden med golvvärme jämfört med en grund utan till underliggande mark rapporteras också i flertalet andra undersökningar, bland annat amerikanska, danska och italienska studier.

Skillnaden i värmeförlust i undersökningar beror till största delen på att de genomförts under olika förutsättningar. I undersökningarna av Olesen har golvvärme simulerats med en värmefolie som monterats på golvytan utan golvbeläggning. I flera undersökningar rapporteras att golvbeläggningen har stor inverkan på värmeförlusterna i grunder med golvvärme. Olesens studie är därför inte representativ för verkliga grunder. I praktiken är värmeförlusten högre eftersom golvbeläggning saknas i hans undersökning. Undersökningarna som visar 30 % högre total energianvändning indikerar enbart att golvvärme medför ett högre uppvärmningsbehov. I studierna har byggnader med bl a olika egenskaper, olika sammansättningar av familjer och varierande beteende jämförts. Harrysson hävdar i ett flertal artiklar att det enbart beror på golvvärmesystemet, oberoende av byggnadens egenskaper, beteendet etc. Detta är tveksamt då någon fördjupad analys av dessa frågor inte genomförts. Roots har visat att uppvärmningssäsongens längd har stor inverkan på uppvärmningsbehovet. En månad längre uppvärmningssäsong kan medföra att uppvärmningsbehovet blir 30 % högre för en grund med tunn värmeisolering. Sannolikt är det beteendet som är huvudorsaken till att energianvändningen är högre i grunder med golvvärme. Detta styrks också av Harryssons undersökning. I hans rapport framgår det av en enkätundersökning att de boende som har golvvärme har längre uppvärmningssäsong. Harrysson har inte korregerat mätvärdena för detta. Att golvvärme inbjuder till längre uppvärmningssäsong beror på att den termiska komforten upplevs som positiv. Men är inte golvvärmesystemets fel att de boende väljer att förlänga uppvärmningssäsongen p g a att de vill bibehålla inomhuskomforten en längre tid.

Av referenserna framgår att många fältundersökningar genomförts i byggnader med golvvärme och att värmeförluster i grunden har mätts upp. Grunderna som undersökts har ingen eller tunn värmeisolering, vilket inte motsvarar förhållandena i nyproducerade, svenska grunder. Mätresultaten ger svar på golvvärmens prestanda under rådande förutsättningar vid mättillfället. Det saknas studier där byggnaden ses som ett helt

energisystem och där parameterstudier genomförts för att undersöka hur olika faktorer påverkar värmeförlusterna för byggnader med olika egenskaper. Nedan ges exempel på frågeställningar vars svar inte hittats i referenserna:

Systemanalys. Byggnaden bör ses som ett helt energisystem. Hur påverkas värmeförlusterna av olika faktorer som värmekapacitet och isoleringsgrad?

Renovering. Bör golvvärme monteras som enda uppvärmningssystem i sämre isolerade byggnader där värmeeffektbehovet är stort? Kan det leda till för höga yttemperaturer på golvet?

Lågtempererade system. Golvvärme kan användas till lågtempererade system eftersom dess värmeavgivande yta är stor. Det innebär att spillvärme, solvärme, värmepumpar och liknande lågtempererade källor kan täcka en större del av uppvärmningsbehovet. Vilka krav ställs på byggnadens isoleringsgrad och på golvvärmesystemet för att maximalt kunna utnyttja lågtempererade källor?

Flervåningshus. Golvvärme monteras även i hus med flera våningar. Om slingan monteras i ett mellanbjälklag sker en värmetransport uppåt och nedåt. Hur skall golvvärme utformas så att varje lägenhet erhåller erforderlig värmeeffekt?

Man kan notera att det är svårt att utifrån referenserna ge ett exakt svar på hur en grund skall utformas med avseende på värmeisoleringens tjocklek. Det är flera faktorer som påverkar tjockleken, t ex ekonomi. Dock bör grunder som utföres med golvvärme vara välisolerade.

3.2 Fukt

Det har genomförts ett fåtal undersökningar om fuktförhållanden i grunder som utföres med golvvärme. Nilssons undersökningar avsåg platta på mark med tunn, underliggande värmeisolering. Av resultaten framgår att det kan behövas en ångspärr under värmeisoleringen i breda byggnader som har tunn, ånggenomsläpplig värmeisolering. Av Elmarssons undersökning framgår det att det föreligger låg risk för höga fuktnivåer i en platta på mark isolerad med 200 mm EPS-cellplast. Vid Chalmers, Institutionen för Byggnadsfysik, har seminarieuppgifter och teoretiska simuleringar genomförts som verifierar ovanstående resultat.

Dessa undersökningar är begränsade. Nilssons studier avser platta på mark med en tunn värmeisolering med olika ånggenomsläpplighet och varierande tjocklek samt varierande bredd på grunden. Idag är förhållandena annorlunda vid nyproduktion. Värmeisoleringens tjocklek är större, vilket medför att fukttillstånden är annorlunda. Emellertid har Elmarsson studerat en typ av grund med tjockare värmeisolering med golvvärme och fukt. Det finns ett flertal andra frågeställningar som bör undersökas. Nedan ges några exempel på frågeställningar:

Ombyggnad. Det är vanligt att golvvärme monteras i grunder vid ombyggnation. Då bör man beakta att golvvärme flyttar fukt till kallare delar. Vad händer i en källare med tunn värmeisoleringen när golvvärme monteras i golvbjälklaget? Finns det risk för att höga fuktnivåer uppträder i anslutande byggnadsdelar?

Parhus. Det är vanligt att de boende får välja uppvärmningssystem vid nyproduktion av parhus. Vad händer i grunden utan golvvärme när ena familjen väljer radiator och den andra familjen golvvärme? Kommer byggfukten i grunden med golvvärme att torka ut i riktning mot grunden utan golvvärme med risk för höga fuktnivåer? Hur påverkas detta av bl a värmeisoleringens tjocklek och ånggenomsläpplighet?

Breda byggnader. Det förkommer att golvvärme väljs i mycket breda byggnader. Erfarenheten visar att det uppkommer fuktskador i sådana byggnader. Måste golvvärmen vara på kontinuerligt eller hur skall grunden utformas i samband med golvvärme och breda byggnader för att undvika höga fuktnivåer?

Värmeslingans läge. Golvvärmeslingan kan monteras nära golvytan eller i botten alternativt mitt i plattan. När golvytan är öppen kan fukt torka ut uppåt och då är det en fördel att värmeslingan är monterad i botten av betongplattan. När mattan (ångtät) sedan är monterad är det en fördel om värmeslingan ligger i nära överytan eftersom temperaturgradienten ökar uttorkningen nedåt. I mitten sker uttorkning både uppåt och nedåt. Vilken förläggning är att föredra?

Referenspunkt. För en platta på mark utan golvvärme finns angivna referensnivåer där relativa fuktigheten (rf) mäts. När rf har uppnått ett visst värde kan golvbeläggningsen appliceras utan att skadliga fuktnivåer uppträder efter omfördelning av fukt. Går det att finna en sådan referensnivå i grunder som utföres med golvvärme och är denna nivå beroende på vilket djup som golvvärmeslingan monteras?

Produktionstid. I grunder med golvvärme slås golvvärmen på för att torka ut byggfukt innan golvbeläggningsen appliceras. Kan man förkorta produktionstiderna för grunder med golvvärme och i så fall hur mycket kan tiden förkortas?

Dimensionerande snitt. För nyproducerade grunder används ofta färdiga kantelement. Tjockleken på dessa är oftast mindre än för övriga delar under grunden. Det betyder att temperaturgradienten i mindre breda byggnader är större i mittsnittet än i kantbalken. Vilket dimensionerande snitt bör väljas?

Golvkyla. Det spekuleras ofta i att använda golvvärmesystemet för golvkyla. Hur påverkas det byggnadsfysikaliska tillståndet i grunden, finns det risk för höga fuktnivåer? Beror detta på vilket djup slingan är monterad?

3.3 Styr- och reglerstrategier

Det framgår av flera undersökningar, vilket var väntat, att ett väl fungerade golvvärmesystem erhålls om systemet är rätt injusterat. I praktiken förekommer det ofta att systemen är felinställda, vilket kan vara en av orsakerna till de brister som rapporteras om golvvärme.

Det finns olika styr- och reglerstrategier. Idag är det vanligt med framkoppling och återkoppling. Utomhusgivaren har ofta funktionen att bestämma framledningstemperaturen medan inomhustermostaten justerar framledningstemperaturen efter inomhustemperaturen. Utomhusgivaren rekommenderas att placeras i skuggan. Det kan innebära att när solinstrålning till rummet sker fortsätter golvvärmen att leverera värme om det inte finns någon återkoppling. Med central återkoppling kan det ändå uppträda problem, beroende på hur systemet utformas. Om ett rum tillförs värme genom solinstrålning minskas dess värmeeffektbehov. Framledningstemperaturen skall då minskas.

Ett annat problem som kan uppkomma i samband med att rummen har olika värmeeffektbehov är att framledningstemperaturen blir för hög om ett rum har litet värmeeffektbehov medan de övriga har stort behov. Detta kan medföra att returtemperaturen i slingan kan vara högre än erforderlig framledningstemperatur till rummet som har litet värmeeffektbehov.

Mc Cluer rekommenderar en alternativ styr- och reglerstrategi, värmeeffektmodulering. Principen innebär att tillförd värmeeffekt i pannan är lika stor som värmeförlusten i byggnaden.

De undersökningar som genomförts avser byggnader i vilka värmekapaciteten är liten i väggar och tak. När värmekapaciteten är stor försvåras regleringen betydligt p g a att byggnadens tidskonstant är stor. Hur skall man lösa detta? Skall golvvärme användas tillsammans med luftvärme (golvvärme utgör basvärme och luftvärme jämnar ut temperaturvariationer i inomhusluften) eller finns det andra lösningar?

Det finns flera frågeställningar kring styr- och reglering av golvvärme; exempel på sådana är:

Tunga byggnader. Byggnader med stor värmekapacitet, hur skall de regleras med hänsyn tagen till bland annat solinstrålning, beteende och vilken strategi bör användas?

Flera våningar. Hus skall byggnader med flera våningar och med golvvärme som enskilt uppvärmningssystem regleras?

3.4 Övrigt

Det finns förstås många fler frågor om golvvärme. Nedan redovisas resultat från ett fåtal undersökningar som kan vara intressanta.

Det finns en undersökning som visar att med golvvärme erhålles låga förekomster av mögel, kvalster etc. I grundkonstruktioner med golvvärme torkas fukten ut. I träkonstruktioner medför uttorkningen att träet krymper, vilket kan leda till att sprickor uppträder i golvbeläggningen, t ex parkett eller klinkers. Radiator monteras under fönstret för att yttemperaturen skall höjas och hindra kallras från fönstret. Med golvvärme förtätas golvvärmeslingan vid ytterkanten bl a för att hindra kallraset från fönstret. I en studie rapporteras att luftströmmen från golvvärmen kan öka yttemperaturen på fönstret. Man bör även undersöka hur ventilationen påverkar kallraset. Om t ex tilluftsdonet är placerat över fönstret och ej förvärms, hur kommer då inomhuskomforten påverkas?

4 Framtida forskningsbehov

Det har genomförts ett flertal undersökningar om golvvärme. Det som karakteriserar dessa är att ett fåtal parametrar studerats vid varje undersökning. Några parameterstudier som undersöker flera parameters samtidiga påverkan på värmetransport etc har inte genomförts. Grundkonstruktionerna har inte alltid varit representativa för svenskt utförande av grunder med golvvärme. Det finns därför flera frågeställningar kring golvvärme, vilka kan sammanfattas på följande sätt:

Systemanalys. En systemanalys av byggnader med golvvärme bör genomföras av hur olika reglerstrategier, klimatskalets termiska egenskaper (värmekapacitet, värmeisolering)–ventilationssystem – kallras vid fönster – interna värmelaster – beteende etc. påverkar den termiska inomhuskomforten och värmeförlusterna. Det gäller både småhus och flerfamiljshus. Hur skall utomhusgivaren monteras i termiskt tröga byggnader, i skugga eller i solen?

Framtida lösningar – intelligenta lösningar. På basis av tumregler för hur framtida golvvärmesystem kan se ut.

Renovering. Det är vanligt att golvvärme läggs in vid renovering. Hur skall golvvärmen appliceras för att erhålla god energieffektivitet? Finns det byggnader där golvvärme inte bör användas p g a bristfällig isoleringsgrad i klimatskalet? När blir det för stort effektbehov?

Lågtemperatursystem. Golvvärme kan vara väl lämpat för lågtempererat system, d v s användning av spillvärme, i samband med värmepump, solvärme etc. Undersökning bör utreda vad som krävs vid sådana systemlösningar.

Fukt. Golvvärme påverkar byggnadens fukttillstånd, både vid renovering och vid nyproduktion. En faktor som påverkar fukttillståndet i grunden är värmeisoleringens tjocklek, typ av värmeisolering, grundens bredd, om det är parhus etc. Det finns ett flertal praktiska frågeställningar som bör undersökas för att säkerställa en fuktsäker grund.

5 Referenser

5.1 Värmetransport

Algren A B et al. Heating panel time response study. ASHVE Transactions, Vol. 55 pp 183-191, 1949.	Referens 1
Barton J J. Electric Floor Warming. Förlag Newnes, London 1967.	Referens 2
Billington N S et al. Experiments with intermittently operated floor panels. Journal of the institution of heating and ventilation engineers, ISSN:0368-2390, Nr 21 , p109-113, 1953	Referens 3
Buhl L, Gulvvarmeanlæg Dansk Teknologiskt Inst, Energi. ISBN 87-7756-033-7. Taastrup 1997.	Referens 4
Chuangchid P et al. Foundation heat loss for hot water concrete floor heating panels. Solar Engineering ASME, New York, NY, USA.p 105-120. International Solar Energy Conference 1997.	Referens 5
Comini G, Nonino C. Thermal analysis of floor heating panels. Numerical Heat transfer, nr 5 p 537-550, 1994.	Referens 6
Dale J D et al. The thermal performance of a radiant panel floor-heating system, Final report. Department report No. 77. Dept. of Mech. eng., University of Alberta, Canada, August, 1989.	Referens 7
Gundersen P. Energiflexsible värmeanlegg, energieffektiv vannbåren lavtemperaturvarme. projektrapport 270-2000. NBI 2000.	Referens 8
Harrysson C. Golvvärme eller radiatorsystem i småhus. Falkenberg 1997.	Referens 9
Hogan R E et al. Comparison of numerical model with ASHREA design procedure for warm water concrete floor heating panels. V transactions, Part1B, pp 589-601. 1986.	Referens 10
Ho S Y. Simulation of the dynamic behaviour of a hydronic floor heating system. M.Sc. Thesis, University of Alberta, 1992.	Referens 11
Humphreys C M et al. Field studies of heat losses from concrete floor panels, HAVE transactions, vol. 57, 1951 pp. 221-232, 1951.	Referens 12
Hutchinson F W et al. Losses from a Floor-type panel heating system. ASHVE transactions, vol 57, 1951, pp. 37-50, 1951.	Referens 13
Schutrum L F et al. Effects of non-uniformity and furnishing on panel heating performance. American society of heating and ventilations engineers transactions. vol. 60, pp. 161 – 134, 1954.	Referens 14
Johansson A, Hagrydh K, Golvvärme i betongplatta på mark	Referens 15
Jorgensen B et al. Gulvvarme. särtryck af tidskriftet VARME. Teknologiskt inst, afdelning for varmeteknik. Köpenhamn 1972.	Referens 16
Kalzuka M et al. A numerical prediction of thermal environment in a room heated with floor panels. Int. symposium. Room air convection and ventilation effetviness Tokyo, Japan, July 1992, ASHREA, pp. 135 – 142,1993.	Referens 17
Nimmermark, Sven. Golvvärmens förutsättningar och utformning i svinstallar. ISRN SLU-JBT-SPM--219—SE Sveriges lantbruksuniversitet, Lund 1995.	Referens 18
Norén M, Rosensten, L. Undersökning av golvvärme från kopparrör i prefabricerade träbjälklag. Examensarbete E23:1981, avd för Installationsteknik. Göteborg 1981.	Referens 19

Norlin C. Uppvärmning av småhus, jämförelse mellan golvvärme och radiatorvärme. Examensarbete Uppsala universitet, byggingenjörprogrammet. 1998.	Referens 20
Olausson M, Janson U. Fördelar och nackdelar med golvvärme	Referens 21
Olesen B W Kjerulf-Jensen P. Energy consumption in a room heated by different methods. Second Internat. CIB symp. on energy conservation in the built environment. Copenhagen 1979.	Referens 22
Olesen BW et al. Comparative experimental study of performance of radiant floor-heating systems an a wall panel heating system under dynamic conditions ASHRAE Transactions v 100 n 1 1994.ASHRAE, Atlanta, GA, USA.p 1011-1023 CODEN: ASHTAG ISSN: 0001-2505, 1994.	Referens 23
Olesen B W et al. Thermal comfort in a room heated by different methods. ASHREA transactions 86(1), 1980.	Referens 24
Olesen B.W. Comparative experimental study of performance of radiant floor-heating systems and a wall panel heating system under dynamic conditions. ASHRAE Transactions v 100 n 1 1994, p 1011-1023 ISSN: 0001-2505. Atlanta USA 1994.	Referens 25
Radisch N. Vurdering af varmemeforbrug i nyere huse med gulvvarme, Teknologiskt institut. ENS.j.nr: 745-0012. Tåstrup 2001.	Referens 26
Roots P. Värmeförlust från en grund som utföres med golvvärme. Working paper 52. Höskolan i Gävle, 1998.	Referens 27
Roots P. Värmeförlust från en grund som utföres med golvvärme vid icke stationärt förhållande. Working paper 6. Höskolan i Gävle, 2000.	Referens 28
Roots, P; Hagentoft C-E, Grundläggande fakta om golvvärme. Bygg och teknik nr 6, sid 54 - 56, 2000,	Referens 29
Sartain E L, Harris W S. Heat flow characteristics of hot water floor panels. American Society of heating and ventilating engineers transactions 1954, vol. 60, pp 103 – 120, 1954.	Referens 30
Sartain E L, Harris W S. Performance of covered hot water floor panels part I and II. <i>Part I</i> : American Society of heating and Ventilating engineers transactions 1956, vol. 62, pp 55 – 70. <i>Part I</i> : American Society of heating and air conditioning engineers transactions, vol. 63, pp 209 – 23, 19578.	Referens 31
Schata M. Evidence of heating system in controlling house-dust mites and moulds in the indoor environment. Indoor air 90, proc. 5 th int. conf. Indoor air quality and climate. Volume 4. Building and system assements and solutions int. conf. on indoor air quality and climate, p 577 – 58, Toronto 19901.	Referens 32
Schaplmann D. Heat output and heat losses of floor heating. New energy conservation technologies and their commercialisation. Proceedings of an int. conference in Berlin, april 1981, 3 volyme.	Referens 33
Shia-hui P, Peterson F, Convection from a cold window with simulated floor heating by means of a transiently heated flat unit. Energy and buildings, 23, 1995.	Referens 34
Steimle F, Mengede B. Development and investigation of a combined ventilation and floor-heating system, Energy impact of ventilation and air infiltration. 14 th AIVC conference – energy impact of ventilation and air infiltration, Copenhagen, Denmark, 12 – 23. September 1993. Air infiltration and ventilation centre, Warwick, UK, 121 – 129, 1993.	Referens 35

Strada M. A finite element design procedure for floor radiant panels. Clima 2000 second world congress on heating, ventilating, refrigeration and air conditioning. Vol. 1 heat and mass transfer in buildings. JUKO KGH, Sarajevo, Yugoslavia, September 1989, pp. 106 – 123, 1989.	Referens 36
Tiitso L. Golvvärme i flerbostadshus, en teknisk och komfortmässig jämförelse med radiatorsystem. TRITA-BYMA 1998:8E KTH. ISSN 0349-5752. Kungliga tekniska högskolan, Stockholm 1998.	Referens 37
Wit J, Paulsen O. Gulvvarmeanlæg, varmeafgivelse og regleringsegenskaber for gulvvarmeanlæg. ISBN 87-7511-606-5. Varme- og Installtionsteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup 1985.	Referens 38
Yoshino H et al. Investigation if indoor thermal environment, air quality and energy consumptions in new detached houses of wood-frame construction in a small city in Japan. Environmental International Vol. 16 pp 37-52, 1990.	Referens 39
Youcef L. Two-dimensional model of direct solar slab-on-grade heating floor. Solar energy, vol.46 no. 3, pp. 183-189,1991.	Referens 40
Yamagishi K et al. Investigation of heating system for a high-ceilinged room in a house. ASHRAE Transactions Identifier p-issn 0001-2505, Jan 1990.	Referens 41
Örberg L. Värt att veta om golvvärme. Golvvärme L Örberg AB, Mjölby, 1988.	Referens 42

Referens 1

Algren A B et al. Heating panel time response study. ASHVE Transactions, Vol. 55 pp 183-191, 1949.

Syfte: Att studera hur tidskonstanten hos golvvärmesystemet påverkar inomhusklimatet (luft- och strålningstemperatur) vid icke-stationärt förhållande. Studien avser både uppvärmning och avkylningsförlopp.

Metod: Mätningar genomfördes i ett litet hus utan fönster och grunden utgjordes av en platta på mark utan isolering under betongplattan (ca 100 mm tjock). Värmeslingan var ingjuten i underkant av betongplattan. Det var naturlig ventilation i huset. I huset var flera mätpunkter placerade för att mäta inomhusluftens temperatur samt medelstrålnings-temperaturen.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Medelstrålningstemperaturen var ca 1°C högre än lufttemperaturen.
- Lufttemperaturen kan ökas maximalt med ca 8°C/h. Denna ökning kan ske ca en timma efter det att värmeeffekten ökas i värmeslingan (tidsfördröjning ca 1 h).
- Lufttemperaturen var högre än yttemperaturen på väggar och tak. Således sker värmetransport huvudsakligen genom konvektion och ledning från luften till dessa ytor.

Kommentar: Skillnaden mellan operativ temperatur och lufttemperatur är inte representativ för en normal byggnad, vilken har fönster som påverkar den operativa temperaturen. Med golvvärme kan det vara så att yttemperaturerna på vägg och takytor är högre än lufttemperaturen på grund av strålningsutbytet med golvet. Värmetransport sker då från ytorna till luften via ledning och konvektion, det vill säga omvänt mot erhållet resultat ovan.

Referens 2

Barton J J. Electric Floor Warming. Förlag Newnes, London 1967.

Syfte: Att redovisa hur golvvärme fungerar för olika systemlösningar. Studien avser elektrisk uppvärmning med kablar. Nedan sammanfattas synpunkterna.

- Visar att temperaturgradienten i höjdlängd är jämnare med golvvärme jämfört med radiator.
- Temperaturintervallet på golvytan bör ligga inom 25 °C- 26,7°C för att uppnå den bästa inomhus komforten (Chrenko F A, J.I.H.V.E Vol 23 1956).
- Visar att värmemotståndet mellan slinga och insida har betydelse för hur stor värmeförlusten från platta till marken blir.

Kommentar: Det är en handbok med ett omfattande innehåll där olika lösningar beskrivs. Redan 1967 förstod man enkla saker som att grunderna skall vara välisolerade och att värmemotståndet mellan värmeslinga och inomhusluften påverkar värmeförlusten. Sen låter temperaturerna något högt för att uppnå bästa inomhuskomfort, det framgår inte ur vilket perspektiv man menar.

Referens 3

Billington N S et al. Experiments with intermittently operated floor panels. Journal of the institution of heating and ventilation engineers, ISSN:0368-2390, Nr 21 , p109-113, 1953

Syfte: Att undersöka hur värmeförlusten från en platta på mark med golvvärme till underliggande mark varierar med olika isolerutföranden.

Metod: Mätningar. En platta på mark med golvvärme uppvärmdes intermittert och värmeförlusten ner till marken mättes. Grunden isolerades i yttre randzonen, vilken jämfördes med en oisolerad grund.

Resultat: Uppvärmningsbehovet minskar 25 % när grunden utföres med kantisolering. Golvet temperatur på innerytan stiger fortare med värmeisolering i grunden.

Kommentar: Redan 1953 började man i USA fundera kring att isolera grunder för att reducera värmeförlusten. Idag, ca 50 år senare, värmeisoleras grunden alltid i nyproducerade hus i Sverige med minst 100 – 150 mm. I USA har man fortfarande tunna isolertjocklekar.

Referens 4

Buhl L, Gulvvarmeanlæg Dansk Teknologisk Inst, Energi. ISBN 87-7756-033-7. Taastrup 1997.

Syfte: Att sammanställa rekommendationer om hur en golvvärmeanläggning bör utformas med avseende på styr och reglerutrustning och grundens utformning.

Rör: stålrör kan korrodera, plaströr skall vara syrediffusionstät, annars finns risk för korrosion. Om kopparrör används bör kopparrörets längdutvidgning beaktas.

Golvkonstruktion: Lågt U-värde, tänk på fukt. Om risk föreligger för skadlig fukttransport, lägg in tätskikt

Värmeavgivning: Trägolvs bör ha högre framledningstemp, kan finnas risk för att sprickor uppstår, då trä torkar. Vid randzoner bör c-avståndet minska för att motverka extra värmeförluster

Reglering: Olika principer genomgås för olika anläggningar.

Referens 5

Chuangchid P et al. Foundation heat loss for hot water concrete floor heating panels. Solar Engineering ASME, New York, NY, USA, p 105-120. International Solar Energy Conference 1997.

Syfte: Att presentera en teoretisk modell för att beräkna temperaturfördelningen och värmeförlusten i en grund som utföres med golvvärme. Fyra olika konstruktionslösningar studerades, oisolerad platta, platta med kantisolering, en normal isolerad platta och en välisolerad platta.

Metod: Utveckla en teoretisk tvådimensionell modell för det stationära tillståndet. Den allmänna värmeledningsekvationen löses genom en semi analytisk lösning.

Resultat: I ”pappret” redovisas beräknad temperaturfördelning och värmeförlust i en grund som utföres med golvvärme. Det framgår av resultaten att temperaturfördelningen under plattan påverkas av värmeisoleringens tjocklek under plattan. Kantisoleringen påverkar inte temperaturfördelningen under plattan. Värmeflödet uppåt till inomhusluften är oberoende av vilken tjocklek som värmeisoleringen under plattan har och oberoende av golvbeläggning. Om c-avståndet mellan värmeslingans rör ökar, det vill säga färre rör, minskar värmeförlusten. Varierande temperatur på ytan minskar värmeförlusten.

Kommentar. Resultaten som erhålls är logiska under antagna förutsättningar. Värmetransporten till inomhusluften sägs vara oberoende av värmeisoleringens tjocklek under plattan och golvbeläggning. Värmeförlusterna ökar dock. Resultaten har erhållits under förutsättning att värmeslingans temperatur har varit konstant. Om golvbeläggningens värmemotstånd är liten, det vill säga att värmeövergångsmotståndet på golvytans insida dominerar erhålles detta resultat. Men om golvbeläggningens motstånd varit stor skulle detta påverka värmetransporten till inomhusluften. Att värmeförlusten minskar när rörens C-avstånd ökar är också självklart. Det blir färre värmekällor (som här har samma temperatur) i grunden som bidrar till värmeförlusten varför den blir mindre. De har i modellen antagit att kantförlusterna på utsidan av kantbalken är försumbar. Detta antagande gäller även, under vissa förutsättningar, i den nya CEN-standarden när värme-genomgångskoefficienten för en grund beräknas.

Referens 6

Comini G, Nonino C. Thermal analysis of floor heating panels. Numerical Heat transfer, nr 5 p 537-550, 1994.

Syfte: Att jämföra en teoretisk modell för att beräkna värmetransporten i en grund som utföres med golvvärme mot normen DIN 4725. vid stationärt förhållande.

Metod: Teoretisk modellering, FEM, och verifiering av stationär beräkningsmodell genom mätningar. Grunden utgörs av ett mellanbjälklag av betong med överliggande värmeisolering. Ovanpå detta har golvvärmeslingorna lagts i ett flytspackelskikt. I grunden har golvvärme monterats och underliggande marks temperatur simuleras.

Resultat: Modell enligt DIN 4725 överensstämmer med numeriska simuleringar.

Kommentar: I referensen redovisas hur man teoretiskt kan beskriva värmetransporten i en grund som utföres med golvvärme på ett bra sätt. Den tyska DIN normen för att beräkna värmetransporten i en grund som utföres med golvvärme är komplicerad. Det kan vara svårt för praktiserande ingenjörer att förstå denna. Att beräkna vad värmetransporten blir i en grund som utföres med golvvärme går lätta att beräkna enligt formler framtagna av Roots, 1998.

Referens 7

Dale J D et al. The thermal performance of a radiant panel floor-heating system, Final report. Department report No. 77. Dept. of Mech. eng., University of Alberta, Canada, August, 1989.

Syfte: Att undersöka golvvärme och luftvärme och jämföra hur dessa påverkar inomhusklimatet och hur stora värmeförlusterna är vid icke stationärt förhållande. Undersökningen omfattas också av att undersöka hur strålningstemperaturen varierar i en byggnad.

Metod: Mätning i fält med avseende på en byggnad som har en källare och ett plan ovan källaren. Golvvärme fanns i mellanbjälklaget och i källaren. Golvvärmen renoverades vilket innebar att golvvärmeslingan flyttades upp från mellanbjälklagets värmeisolering till ovensidan, ingjuten i flytspackel. Golvvärmeslingan var förlagd med mindre C-avstånd intill ytterväggar med fönster. Värmeisolering var tunn i källarväggarna och i bottenbjälklaget.

Luftvärmen tillförs rummet via ett tilluftsintag i golvet under fönstret.

Resultat: Följande resultat rapporteras:

- Den operativa temperaturen var högre med golvvärme jämfört med luftvärme
- Värmeförlusten i grundens bjälklag i källaren var väsentligt högre med golvvärme, 45 %, jämfört med luftvärme. Den totala energianvändningen för uppvärmning mellan de två uppvärmningssätten var dock mindre än 5 %.
- Golvvärmen är inte så energieffektiv som många hävdar. Golvvärme kan medföra ett högre uppvärmningsbehov jämfört med luftvärme.
- Golvvärme var bättre att motverka kallras vid fönstret jämfört med luftvärme.

Kommentar: Resultaten visar att golvvärme inte medför någon energibesparing som det finns en del som hävdar. Energianvändningen för uppvärmning för båda systemen är nästan densamma.

Referens 8

Gundersen P. Energiflexible värmeanlegg, energieffektiv vannbåren lavtemperaturvarme. projektrapport 270-2000. NBI 2000.

Syfte: Avsikten med rapporten är att sammanställa och rapportera om resultat från olika projekt med avseende på värmeanläggningar. Golvvärme behandlas bland annat med avseende på värmeförlust, isolertjocklek och avgiven värmeeffekt.

Metod: Resultat från mätningar och teoretiska simuleringar rapporteras.

Resultat: Det rapporteras ett flertal resultat, här ges en kortfattat sammanfattning av resultat om golvvärme.

- Golvvärme medför en ökning av värmeförlusten. Ökad isolertjocklek rekommenderas.
- En grund som utföres med golvvärme kan utgöras av enbart cellplast och en golvbeläggning. Fördelen med denna konstruktion är att korta tidskonstanter erhålls, kring 15 min. De har även studerat nedböjningen för olika typiska golvbeläggningar, Nedböjningen är kring 1 mm, vilket de anser vara godtagbart.

Kommentar: I rapporten redovisas resultat som avser Norska grunder. De använder en platta på mark med en ringmur, där ringmuren för ner lasterna till grunden. Därför kan plattans tjocklek vara tunnare, kring 60 mm, användas. I Sverige används kantförstyvningar som integreras med plattan som fördelar lasten, vi har därför tjockare betongplattor, minst 100 mm.

Referens 9

Harrysson C. Golvvärme eller radiatorsystem i småhus. Falkenberg 1997.

Syfte: Att undersöka radiator och golvvärmes energianvändning i enfamiljshus.

Metod: Mätningar av energianvändningen har genomförts i byggnader som har radiator eller golvvärme som enda uppvärmningssystem. Den totala energianvändningen uppmäts i icke stationärt förhållande.

Resultat: Följande rapporteras

- Golvvärme medför 30 % högre energianvändning.
- Golvvärme har komfortproblem vid fönster.
- Golvvärme trögt system.

Sedan framförs följande, alla punkter har inte undersökts och är inte underbyggda av resultaten från undersökningen, men framförs ändå:

- Radiatorsystem är billiga, enkla pålitliga, beprövade system, lätta att reparera, fungerar alltid bra, låga driftskostnad, högt utnyttjande av gratisvärme, enkel reglering och bra vid rumsvis temperaturreglering.

Kommentar: Denna rapport är orsaken till den häftiga debatt som förekommit om golvvärme. Det kan vara förståeligt att rapporten kritiserats på grund av de slutsatser Harrysson dragit. Dessvärre finns det brister i rapporten och det saknas ibland grund för olika påståenden i rapporten. Nedan ges några exempel på brister i analysen

- Någon kritisk analys av radiatorns funktion redovisas inte.
- Det redovisas att det är den tunna isolertjockleken som är orsaken till att golvvärme har så hög energianvändning. Eftersom det inte har genomförts någon analys av detta är det underligt att man direkt kan påstå detta. Han har inte genomfört någon analys om hur värmetransporten sker i en grund med golvvärme. Orsaken till att husen med golvvärme har högre energianvändning beror sannolikt på de har längre uppvärmningssäsong. I rapporten framgår det att husen med golvvärme har längre uppvärmningssäsong, hur detta påverkat energianvändningen har inte analyserats. Det kan vara så att golvvärme inbjuder till längre uppvärmningssäsong på grund av att inomhuskomforten upplevs som god. Men det betyder inte att golvvärme har 30 % högre energianvändning vid identiska förutsättningar (lika lång uppvärmningssäsong etc.).
- Man jämför byggnader med olika egenskaper (olika isolertjocklekar etc.).
- De boendes beteende påverkan har inte analyserats.
- Det saknas en teoretisk analys om hur värmetransporten sker i en grund, vilket sannolikt är orsaken till bristerna i analysen.

En lämpligare slutsats av undersökningen borde vara att det finns indikation på att golvvärme medför högre energianvändning och det bör undersökas vidare!

Referens 10

Hogan R E et al. Comparison of numerical model with ASHREA design procedure for warm water concrete floor heating panels. V transactions, Part1B, pp 589-601. 1986.

Syfte: Att undersöka om rekommendationerna som ges för design av golvvärme i ASHREA är korrekta. Orsaken till att undersökningen genomfördes berodde på att man i ASHREA antar att värmeflödet till inomhusmiljön är lika stor på hela golvytan. I en platta på mark och i en källare är det inte så. Värmeflödet varierar i dessa fall med grundens bredd.

Metod: Stationärt teoretisk simulering av värmeförlusten genomfördes på platta på mark och resultaten jämförs med mätresultat.

Resultat: Av resultaten framgår det att rekommendationerna som redovisas i ASHREA är något för högt.

Kommentar: Grunden som studeras är liknande de som byggs i Norge, det vill säga ringmur, detta motsvarar inte en platta på mark i Sverige.

Referens 11

Ho S Y. Simulation of the dynamic behaviour of a hydronic floor heating system. M.Sc. Thesis, University of Alberta, 1992.

Syfte: Att undersöka hur inomhustemperaturen varierar med golvvärmens förläggning i källarens golvbjälklag vid både stationära och icke stationära förhållanden. En jämförelse mellan två teoretiska lösningsmodeller med finita differens och finita element genomfördes också.

Metod: Mätning och teoretisk simulering används för att studera golvvärmens funktion i en 1-plansbyggnad med källare. Golvvärme finns både i mellanbjälklaget och i källarens golvbjälklag, men denna undersökning avser enbart golvvärmen i källarens golvbjälklag. Värmeisoleringens tjocklek är 25 mm. Golvvärmeslingan är ingjuten i flytspackel.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Liten skillnad mellan beräknad och uppmätta värden i det stationära fallet. Det gäller båda lösningsmodellerna
- I det icke stationära fallet framgår det att rumsluftens temperatur stiger fortare i simuleringarna jämfört med uppmätta värden.

Kommentar: I resultaten redovisades att i de teoretiska modellerna ändrade sig rumsluften fortare jämfört med uppmätt temperatur. Det framgår emellertid inte om hänsyn tagits till värmekapaciteten i de övriga byggnadsdelarna, vägg, tak, fönster etc., vilket påverkar tidsfördröjningen hos inomhustemperaturen.

Referens 12

Humphreys C M et al. Field studies of heat losses from concrete floor panels, HAVE transactions, vol. 57, 1951 pp. 221-232, 1951.

Syfte: Att undersöka hur värmeförlusten till marken varierar för en grund med golvvärme vid olika isolerutförandet i en platta på mark med golvvärme i det icke stationära fallet.

Metod: Mätningar av värmeförlusterna från platta på mark med golvvärme till marken har för olika isolerutförandet i grunden. Byggnaderna (enfamiljshus, en-planshus) har för övrigt varit identiska. Isolering utförandet varierades på följande sätt

- En oisolerad grund
- En delvis isolerad grund (i randzonerna) under plattan
- En helt isolerad platta
- Olika tjocklek på dränerande lagret

Värmeförlusterna och temperaturen i grunden uppmättes på olika avstånd från plattans ytterkant. Det var boende i husen med olika sammansättningar och deras beteende kan ha påverkat resultaten. Till exempel hade de olika golvbeläggningar som mattor etc.

Resultat: Följande resultat rapporteras:

- Randförlusterna är stora varför isolering i dessa zoner är viktig
- Separera värmeslingan från underliggande mark med värmeisolering viktigt.

Kommentar: Det framgår att det är viktigt med isolering under värmeslingan för att minska värmeförlusterna ner till marken, dock nämns inget om golvbeläggningens inverkan. Man säger också att randförlusterna är stora. Randförlusternas andel av totala värmeförlusten genom plattan till marken minskar när plattans yta ökar. I byggnader med liten bredd får randförlusterna stor inverkan.

Referens 13

Hutchinson F W et al. Losses from a Floor-type panel heating system. ASHVE transactions, vol 57, 1951, pp. 37-50, 1951.

Syfte: Att uppskatta hur stor andel värmeförlusten utgör av tillförd värmeenergi i värmeslingan vid icke stationärt förhållande.

Metod: Värmefflödesmätare var inmonterade i oisolerade grunder av typen platta på mark i två byggnader.

Resultat: Det framgår att värmeförlusten utgör cirka 30 % av den tillförd värmeenergi i slingan.

Kommentar: I detta arbete inför man ett uttryck som är lika med begreppet isolerverkningsgrad. Det framgår här hur viktigt det är att värmeisolera grunden.

Referens 14

Schutrum L F et al. Effects of non-uniformity and furnishing on panel heating performance. American society of heating and ventilations engineers transactions. vol. 60, pp. 161 – 134, 1954.

Syfte: Att undersöka hur möblering och icke jämn temperatur på omgivande ytor påverkar värmetransporten i en grund med golvvärme vid stationärt förhållande.

Metod: Mätningar som utfördes på en grund med golvvärme.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Ojämn temperaturfördelning på golvytan påverkar inte den termiska inomhuskomforten i en given punkt.
- Värmetransporten från golvet till inomhusmiljön påverkas inte i någons större utsträckning av möbleringen vid normal möblering. Möbleringen påverkar värmetransporten då möblerad yta utgör en stor andel av den totala golvytan.
- Golvbeläggningen påverkar värmetransporten till inomhusmiljön, golvbeläggningar med högt värmemotstånd bör undvikas.

Kommentar: Även med normal möblering utgör möblerna ett hinder vid värmeöverföring från golvet till inomhusmiljön. I studien försummas denna inverkan. Det är tveksamt om man kan dra generell slutsats att ojämn temperaturfördelning påverkar inomhuskomforten. Det måste bero på hur ojämn den är.

Referens 15

Johansson A, Hagrydh K, Golvvärme i betongplatta på mark

Syfte: Att undersöka om man kan erhålla energibesparing med golvvärme. Man studerar också fuktillståndet i en grund som utföres med golvvärme. Undersökningen avser icke stationärt förhållande för en byggnad lokaliserad i Göteborg.

Metod: Teoretisk simulering för en platta på mark. Isolertjocklek i grunden (0.1-0.3 m) och golvbeläggning (plastmatta och träparkett) varierar.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Det är alltid en fördyring att installera golvvärme jämfört med radiator
- Valet av golvbeläggning påverkar energibehovet, undvik golvbeläggning med stor värmemotstånd
- Energibesparing kan erhållas med golvvärme under förutsättning att inomhustemperaturen är lägre 2 °C än vid radiatoruppvärmning. Värmeisoleringen tjocklek skall då vara 2 – 3 ggr tjockare i grunden med golvvärme och golvvärme-slingan bör inte monteras för djupt i betongplattan.
- Värmeisoleringen skall vara 2. – 3 ggr tjockare i grunden för att undvika omvänd fukttransport i någon större utsträckning.

Kommentar: Detta är en projektuppgift som genomförts av studenter inom en kurs som ges vid CTH, inst för byggnadsfysik. Trots detta är kvaliteten på arbetet högt.

Referens 16

Jorgensen B et al. Gulvvarme. særtryck af tidskriftet VARME. Teknologisk inst, afdelning for varmeteknik. København 1972.

Syfte: Att beskriva hur golvvärme fungerar och ge råd hur olika problem kan lösas. Där behandlas bland annat hur värmeförlusten skall beräknas, styr och regler teknik, materialval för rören, etc.

Där anges ett diagram om hur många som är otillfredsställda som funktion av golvtemperatur – lufttemperatur.

Kommentar: I rapporten genomgås hur golvvärme fungerar och vad man bör tänka på. I avsnittet där man redovisas hur värmeförlusten kan beräknas utgår man från att värmemotståndet mellan slingan och insidan är i det närmaste försumbar. Detta antagande är inte helt korrekt, vilket har visats av bland annat Roots.

Referens 17

Kalzuka M et al. A numerical prediction of thermal environment in a room heated with floor panels. Int. symposium. Room air convection and ventilation effectiveness Tokyo, Japan, July 1992, ASHREA, pp. 135 – 142, 1993.

Syfte: Att teoretisk simulera termisk inomhusmiljö i ett rum uppvärmt med golvvärme och validera modellen mot mätningar.

Metod: Teoretisk simulering med CFD vid stationärt förhållande i ett rum utan sol etc. Det finns ett fönster som har en lägre ytttemperatur än rummet. Detta jämförs med mätningar. Den termiska komforten beskrivs med PMV-index.

Resultat: De teoretiska simuleringarna stämmer mot mätresultaten. PMV värdet är –0.03, vilket innebär en god inomhuskomfort.

Kommentar: Någon djup diskussion som behandlar PMV ges inte. Man diskuterar mer hur lösningen sker med CFD, det vill säga rubriken är bristfällig.

Referens 18

Nimmermark, Sven. *Golvvärmens förutsättningar och utformning i svinstallar*. ISRN SLU-JBT-SPM--219—SE Sveriges lantbruksuniversitet, Lund 1995.

Syfte: Avsikten med undersökningen är att utarbeta riktlinjer för golvvärmesystem för svinstallar.

Metod: Teoretiska simuleringar enligt en modell given i VVS-handboken 1963 och mätningar av temperaturförhållandet i en grund som utföres med golvvärme av typen platta på mark.

Temperatur mäts i betongplattan och på dess yta. Olika årstidsfall simuleras.

Resultat: Mätresultat och de teoretiska simuleringar sägs överensstämma, vilket inte framgår av resultaten.

- Ytemperatur är relativt jämn $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Trögt system, efter 10 till 12 h erhålles erforderlig värmeeffekt.
- Golvvärme + lägre lufttemperatur = högre lufttemperatur + kallare golv. I det senare fallet bör temperaturen vara cirka 4°C högre. Det innebär samma energianvändning för uppvärmning.

Kommentar: Inledningsvis är det svårt att bedöma resultaten. Beskrivning av byggnaden och hur mätningarna genomförts är något bristfällig.

I resultaten redovisas uppmätt värmeförlust och avgiven värmeförlust till inomhusmiljön. Det är tveksamt om man kan utgå från dessa korta mätningar till att bestämma värmeförlusterna. Det framgår av mätresultaten att om värmeförlusten är 9437 W så är värmeförlusten lika med 800 W. Värmeförlusten är lika stor om värmeförlusten är 6 W. Detta visar med all tydlighet att det är ett icke stationärt fall. Resultaten jämförs med en teoretisk modell som är avsett för stationärt fall och detta medför sannolikt att rapporterad värmeförlust är felaktig. Det krävs väsentligt längre tidsintervall för att bestämma värmeförlusten. Avgiven värmeeffekt till insidan kan dock vara korrekt uppmätt. Värmekapaciteten mellan värmeslingan och insidan är liten varför insvängning förloppet till fortvarighet går relativt snabbt, vilket framgår av mätresultaten. Emellertid har det inte undersökts om så är fallet.

Referens 19

Norén M, Rosensten, L. *Undersökning av golvvärme från kopparrör i prefabricerade träbjälklag*. Examensarbete E23:1981, avd för Installations-teknik. Göteborg 1981.

Syfte: Att undersöka hur olika förläggningssätt av golvvärmeslingan, vattenburet, påverkar värmeflödestätheten för olika c-avstånd. Grunden utgörs av ett träbjälklag med 173 mm isolering. Man undersöker också om valet av material, kopparrör eller plaströr, har någon inverkan på funktionen.

Metod: I laboratorium genomförs mätningar i ett träbjälklag. Rören förläggs med 3 och 5 m rör / (m² golvyta). Tre olika utförande av träbjälklag användes:

1. Ovan isoleringen mot en spånskiva som utgjorde golvyta las värmeslingan. de var således i kontakt med spånskivan och det var inga luftspalter.
2. En 3 cm luftspalt fanns mellan isolering och spånskiva som utgjorde golvyta. Värmeslingorna las på värmeisoleringens ovansida.
3. Som det första fallet, men värmefördelningsplåtar användes.

Resultat: Följande resultat redovisas

- Värmefördelningsplåtarna ger bästa resultat.
- Med luftspalt erhålls lägsta värmefflödestäthet
- Med tätare slinga, kortare c-avstånd, erhålles högre värmefflödestäthet

Kommentar: Intressanta resultat, dock kan jämförelsen vara något tveksam på grund av de har olika förutsättningar. Det framhålls att med luftspalt erhålles lägsta värmefflödestäthet. Det är alldeles självklart att det blir så. Om man tar bort 3 cm isolering under värmeslingan erhålles ett sämre värmemotstånd nedåt. Detta ökar värmeförlusten. Dock utgör luftspalten ett värmemotstånd, men det är något lägre jämfört med isolering. Man säger också att värmefflödestätheten blir högre med lägre c-avstånd. Detta är enkelt att förstå med hjälp av isolerverkningsgraden. Varje rör är då detsamma som en enskild värmekälla. Ökar man antalet värmekällor i ett snitt så blir värmefflödestätheten högre.

Referens 20

Norlin C. Uppvärmning av småhus, jämförelse mellan golvvärme och radiatorvärme. Examensarbete Uppsala universitet, byggingenjör-programmet. 1998.

Syfte: Att jämföra energianvändningen i byggnader med golvvärme respektive radiatorvärme.

Metod: I rapporten sammanställs totala energianvändningar erhållna från energileverantörerna. Undersökningen avser rad- och parhus samt friliggande hus med platta på mark. En enkätundersökning om bland annat inomhusmiljön genomfördes också.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Båda värmesystemen ger rätt inomhustemperatur.
- Golvvärme har svårare att ändra inomhustemperaturen.
- Båda systemen ger upphov till varierande temperatur mellan rummen (rumstemperaturen olika).
- Med radiator är det lättare att reglera inomhustemperaturen.
- Golvvärme har större temperaturvariationer på golvet jämfört med radiator.
- Någon slutsats kan inte dras med avseende på hur bra systemen är att återställa inomhustemperaturen efter vädring etc.
- Radiator ger upphov till kalla golv och golvvärme ger upphov till varma golv.
- Med båda systemen känner de boende kallas och "kallstrålning" från fönstren.
- Betydligt fler har haft driftstörningar med radiator än med golvvärme.
- Hus med golvvärme har cirka 30 % högre total energianvändning jämfört med hus med golvvärme.

Kommentar: Undersökningen baseras på vad de boende upplevt samt på den totala energianvändningen. Att jämföra uppvärmningssystemen utan att de har samma förutsättningar kan vara en av orsakerna till att det är en stor skillnad i energianvändning. Nedan ges några synpunkter på resultaten och faktorer som kan vara orsaken till skillnaden i energianvändning:

- Värmeisoleringens tjocklek i grunden är större i hus med radiator än med golvvärme och därför är en direkt jämförelse felaktig utan att normalisera energianvändningen.
- Värmeisoleringens tjocklek är också olika mellan husen och uppvärmningssystemen, vilket påverkar uppvärmningsbehovet.

- Alla hus med golvvärme är friliggande, medan de med radiator kan vara parhus, radhus eller friliggande. Radhus och parhus kan inte jämföras direkt med ett friliggande hus. Parhusen och radhusen har gemensamma väggar och därför en mindre yta som angränsar mot utomhusluften. Transmissionsförlusterna blir då lägre jämfört med ett friliggande hus.
- Beteendet i husen kan vara olika.
- Uppvärmningssäsongen är den lika lång för alla husen?
- Styr- och reglersystemet funktion lika?

Man kan notera att radiatorerna har haft fler driftstörningar än golvvärme samt att de boende inte upplever någon skillnad i upplevelsen av kallras och strålning från fönstren. Harrysson C hävdar motsatsen i ett flertal artiklar.

Referens 21

Olausson M, Janson U. Fördelar och nackdelar med golvvärme

Syfte: Att undersöka om man kan erhålla energibesparing med golvvärme. Man studerar också fuktillståndet i en grund som utföres med golvvärme. Undersökningen avser icke stationärt förhållande förhållande.

Metod: Teoretiska simuleringar genomförs för en platta på mark med golvvärme. Värmeisoleringens tjocklek är 200 mm. Byggnaden är placerad i Göteborg.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Om värmeisoleringens tjocklek under grunden minskar medför detta att en ojämn temperatur på innerytan erhålls. Ökar värmeisoleringens tjocklek blir temperaturen jämn.
- Fukthalten i betongplattan ökar med kortare uppvärmningssäsong. För vissa golvkonstruktioner kan den relativa fuktigheten uppnå kritiskt värde för fuktskador.
- Golvvärme medför ökat uppvärmningsbehov. Hur mycket större den blir beror på isolerverkningsgraden.

Kommentar: Detta är en projektuppgift som genomförts av studenter i en kurs som ges vid CTH, inst för byggnadsfysik. Den är betydligt mer kvalificerad jämfört med en del forskarrapporter.

Referens 22

Olesen B W Kjerulf-Jensen P. Energy consumption in a room heated by different methods. Second Internat. CIB symp. on energy conservation in the built environment. Copenhagen 1979.

Syfte: Att undersöka vilket uppvärmningsbehov som olika uppvärmningsmetoder har vid stationärt förhållande.

Metod: Mätningar har genomförts i ett klimatrum som var placerat i en laboratorielokal. Klimatrummet har en yttervägg med ett fönster övriga väggar är innerväggar som vetter mot laboratorielokalen, det vill säga klimatrummet motsvarar en lägenhet med en yttervägg. Följande uppvärmningsmetoder undersöktes

- Golvvärme simulerades som två alternativ. I första fallet var golvvärme monterad över hela ytan med konstant avgiven värmeeffekt. I alternativ 2 monterades ytterligare en värmekälla under fönstret, vilket skulle simulera en förtätning av värmeslingorna.
- Radiator, monterad på innerväggen alternativt på ytterväggen under ett fönster.
- Konvektor under ett fönster.

- Luftvärme; bakkantsinblåsning av varm luft nära tak från innervägg som står emot ytterväggen. Alternativ två är att tilluftdonet är placerad på golvet under ytterväggen. I båda fallen är frånluftsdonet monterad i inneväggen mitt emot ytterväggen.
- Takvärme.

Tilluft har simulerats genom fönsterkarmen som var monterad i ytterväggen. Dock har detta ersatts av luftinfiltration vid varmluftsinblåsning.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Värmeförlusten av ventilation och transmission genom fönstret utgör ca 90 % av total värmeförlusten.
- Värmeförlusten genom fönstret är nästan lika för alla uppvärmningssystem. För konvektor under fönstret och för luftvärmesystem erhöles något högre värmeförluster genom fönstret.
- Värmeförlusten genom ventilation blev som störst vid luftvärme, ca 20 % högre. Med takvärme blev ökningen 10 %.
- Luftvärme och konvektor har 10 % högre total värmeförlust än de golvvärme och radiator.

Kommentar: Mätresultaten avser en lägenhet med en yttervägg. Sannolikt kommer förhållandena mellan värmeförlusterna (ventilation – transmission) vara annorlunda för ett enfamiljshus med fler kalla ytor.

Värmeförlusten vid takvärme är inte representativ för ett enfamiljshus. I verkligheten har man ett utomhusklimat på utsidan av värmeisoleringen i takbjälklaget, så är det inte i mätningarna. I verkligheten skulle sannolikt värmeförlusterna genom takbjälklaget ha varit något större med takvärme.

I mätningarna simulerades golvvärme med värmefolier som monterats på golvytan utan någon golvbeläggning på. I praktiken finns en golvbeläggning ovan golvvärmen, vilket ökar värmeförlusten. Detta betyder att värmeförlusten för golvvärmen inte är representativ för ett verkligt fall, den skulle bli något högre.

Det finns således en del oklarheter i undersökningen som gör att man inte kan jämföra värmeförlusterna för olika uppvärmningssystem direkt med varandra, dock ger resultaten en indikation på skillnaderna mellan systemens prestanda.

Referens 23

Olesen BW et al. Comparative experimental study of performance of radiant floor-heating systems an a wall panel heating system under dynamic conditions ASHRAE Transactions v 100 n 1 1994.ASHRAE, Atlanta, GA, USA.p 1011-1023 CODEN: ASHTAG ISSN: 0001-2505, 1994.

Syfte: Att undersöka hur inomhusklimatet varierar för olika uppvärmningssystem vid icke stationärt förhållande.

Metod: Mätning skedde i laboratorium i ett rum där ett flertal mätare monterats in. Solinstrålning och interna laster simulerades (belysning, boende). Följande olika uppvärmningssystem undersöktes med avseende på energianvändning, inomhuskomfort, kontrollsystem, termiska massans betydelse för kontrollsystemet och nattsänkning:

- Radiator placerad under fönster tilluften kommer genom hål i karmen.
- Golvvärme ingjuten i betong i ett mellanbjälklag ovan en simulerad källare. Försöket avser att simulera en byggnad med stor värmekapacitet.
- Golvvärme i en grund med isolering i ett mellanbjälklag ovan en simulerad källare. Försöket avser att simulera en byggnad med liten värmekapacitet.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Alla uppvärmningssystem fungerade som avsett, det vill säga inomhustemperaturen varierade inom komfortgränserna.
- Liten temperaturgradient i höjdlängd.
- Liten skillnad i energianvändning ($< 5\%$) mellan systemen.
- Rumstemperaturen sänks enbart $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid nattsänkning, med golvvärme ingjuten i betong. I de två övriga fallen (golvvärme i en konstruktion med liten värmekapacitet och radiator, sjunker temperaturen $5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Detta innebär att värmeförlusten blir högre i golvvärme fallet. I tunga byggnader är energibesparingspotential liten vid nattsänkning.

Kommentar: Vilken reglerstrategi har använts. Är det den som använts i praktiken?

Referens 24

Olesen B W et al. Thermal comfort in a room heated by different methods. ASHREA transactions 86(1), 1980.

Syfte: Att jämföra hur olika uppvärmningssätt påverkar på den termiska komforten i ett rum.

Metod: Mätningar genomförs i ett välisolerat rum, med liten värmekapacitet, som utrustats med olika givare. Följande uppvärmningssystem har undersökts vid stationärt förhållande.

- Golvvärme heltäckande i ett mellanbjälklag ovan en simulerad källare. I ett fall simulerades en förtätning av värmeslingan under fönstret genom att lägga en extra värmefolie där.
- Radiator, monterad på innerväggen eller på ytterväggen under ett fönster i ett mellanbjälklag ovan en simulerad källare
- Konvektor under ett fönster i ett mellanbjälklag ovan en simulerad källare
- Varm tilluft med bakkantsinblåsning nära tak vid innervägg. Frånluftsdonen monterade i golv intill yttervägg i ett fall och frånluftsdon i bakkant i innervägg i ett mellanbjälklag ovan en simulerad källare i ett annat fall.

Tilluft har simulerats genom fönsterkarmen som var monterad i ytterväggen. Dock har detta ersatts av luftinfiltration vid varmlufts-inblåsning.

I mätningarna definierades vistelsezonen som en yta nära fönstret i ytterväggen.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Liten skillnad i termisk inomhuskomfort mellan de olika uppvärmningssystemen
- Liten temperaturgradient i höjdlängd i vistelsezonen för samtliga uppvärmningssystem
- Liten strålningsasymetri. Strålningsasymetrin som är inom godtagbart intervall för god inomhuskomfort (rekommenderat $< 4\text{ }^{\circ}\text{C}$) för samtliga uppvärmningssystem.
- Låga lufthastigheter i vistelse zonen ($< 5\text{ cm/s}$) de flesta mätfall.
- Högst värmeförlust genom fönstret erhöles vid varmlufts-inblåsning och frånluft i bakkanten. Med golvvärme erhöles lägsta värmeförlust genom fönstret.

Kommentar: Man bör betona att erhållna resultat gäller under de förutsättningar som mätningarna genomförts under, vilket också författarna påpekar. Emellertid, ger undersökningen en indikation på att systemen fungerar väl under vissa förutsättningar, till exempel välisolerad klimatskärm. Man erhöles också högre värmeförlust vid varmlufts-inblåsning. Luftomsättningen i rummet var betydligt högre i detta fall än för de övriga uppvärmningssystem.

Referens 25

Olesen B.W. Comparative experimental study of performance of radiant floor-heating systems and a wall panel heating system under dynamic conditions. ASHRAE Transactions v 100 n 1 1994, p 1011-1023 ISSN: 0001-2505. Atlanta USA 1994.

Syfte: Att undersöka hur den termiska komforten påverkas av radiator och golvvärme-system vid icke stationärt förhållanden. I undersökningen studeras även hur grundens värmekapacitet påverkar värmeförlusten och den termiska inomhuskomforten.

Metod: I ett klimatrum med en yttervägg simulerades icke stationärt förhållande. Solinstrålning och interna värmelaster simulerades med en värmefolie som monterades på golvet. Tre undersökningar genomfördes, golvvärme i en konstruktion med liten och stor värmekapacitet samt radiator med en grund som hade liten värmekapacitet. Inomhusmiljön reglerades så att samma PMV index erhöles.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Inga system hade problem med att reglera inomhustemperaturen.
- I grundkonstruktionerna med liten värmekapacitet erhöles den lägsta inomhustemperaturen vid nattsänkning.
- Skillnaden i energianvändningen mellan systemen var mindre än 5 %.

Referens 26

Radisch N. Vurdering af varmemeforbrug i nyere huse med gulvvarme, Teknologisk institut. ENS.j.nr: 745-0012. Tåstrup 2001.

Syfte: Att undersöka om golvvärme medför högre energianvändning än radiator och vad detta beror på.

Metod: Energianvändningen i byggnader följdes upp genom att sammanställa dessa från energileverantörerna samt besöka husen.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Den totala energianvändningen är i medel 34 % högre i hus med golvvärme
- Den huvudsakliga orsaken till den förhöjda energianvändningen beror huvudsakligen på de boendes beteende.

Kommentar: I undersökningen har den totala energianvändning sammanställs och samtidigt diskuteras vilka faktorer som påverkar detta. Dock saknas en djupare analys av orsakerna till att golvvärme medför en högre energianvändning.

Referens 27

Roots P. Värmeförlust från en grund som utföres med golvvärme. Working paper 52. Högskolan i Gävle, 1998.

Syfte: Avsikten med studien är att fastställa värmeförlusten från en grund med golvvärme till marken och vilka faktorer som påverkar detta i det stationära fallet.

Metod: Teoretiska simuleringar av värmeförlusten för en platta på mark genomföres med ett PC-program i det stationära fallet.

Resultat: Resultaten visar att med golvvärme erhålles alltid en högre värmeförlust till marken jämfört med en grund utan golvvärme. Om inomhustemperaturen kan sänkas samtidigt som grundisoleringen har en viss tjocklek kan en energibesparing erhållas med golvvärme.

En faktor som kan användas för att bestämma hur energianvändningen blir med golvvärme införs och den kallas *isolerverkningsgrad*. Ett enkelt uttryck för den härleds och den kan med god noggrannhet användas.

Av definitionen av verkningsgraden framgår det att c-avståndet mellan värmeslingorna inte har någon betydelse för hur stor andel av värmeeffekten som avges till insidan från ett rör. Det beror enbart på förhållandet mellan värmemotståndet ovan respektive under slingan. Däremot påverkar c-avståndet hur jämn yttemperaturen blir och storleken på värmeflödestätheten.

Kommentar: Det genomförs enbart teoretiska simuleringar vid stationära förhållanden, vilka inte är styrka av mätningar. Temperaturen antas vara konstant i slingan, vilket den inte i praktiken är.

Man bör också notera att definitionen av den globala isolerverkningsgraden missgynnar golvvärmesystemet något. I definitionen antas att radiatorn är placerad mitt i rummet, vilket innebär att temperaturerna på omgivande ytor är lika. I praktiken är radiatorn oftast placerad under ett fönster. Det innebär att yttemperaturen på ytterväggen bakom radiatorn och på fönstret blir högre, vilket leder till högre värmeförlust och detta tas ingen hänsyn till.

Referens 28

Roots P. Värmeförlust från en grund som utföres med golvvärme vid icke stationärt förhållande. Working paper 6. Högskolan i Gävle, 2000.

Syfte: Avsikten med studien är att fastställa vilka parametrar som påverkar värmeförlusten från en platta på mark med golvvärme till marken och vilka faktorer som påverkar detta i det icke stationära fallet.

Studien omfattas också av att studera om det föreligger risk för över- respektive under-temperatur i en lätt byggnad.

Metod: Teoretiska simuleringar. Undersökningen avser ett enfamiljshus med en platta på mark som utföres med golvvärme. Tak och väggars termiska värmekapacitet är lika med noll.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Värmeisoleringens tjocklek under betongplattan påverkar värmetransporten till rummet efter en ökning av värmeeffekten i slingan. Betongplattans tjocklek har en stor inverkan på responsen
- Liten undertemp erhålles vid en temperatursänkning utomhus.
- Övertemperatur erhålles vid interna och extern värmelast.

Kommentar: Solinstrålning simuleras i en byggnad med en platta på mark och med väggar och tak som inte har någon termisk tröghet. Någon studie om hur reglerstrategier påverkar detta genomförs inte, utan det studeras enbart hur en förändring påverkar värmeförlust och inomhusmiljön. Några slutsatser om hur den totala värmeförlusten påverkas i samband med interna och externa värmelaster kan inte dras på basis av resultaten. Detta beror av styr- och reglersystemet.

Referens 29

Roots, P; Hagetoft C-E, Grundläggande fakta om golvvärme. Bygg och teknik nr 6, sid 54 - 56, 2000,

Syfte: Artikelns syfte är att rätta ut frågetecken kring golvvärme och belysa problem som kan uppträda i samband med golvvärme.

Metod: teoretiska simuleringar. Undersökningen avser en platta på mark och en källare där båda har golvvärme.

Resultat: Följande resultat redovisas

- det kan finnas risk för höga fuktnivåer i källare och platta på mark
- värmeisoleringen tjocklek måste vara betydligt högre i en grund med golvvärme om värmeförlusten skall vara lika stor som med radiator.
- uppvärmningssäsongens längd har stor inverkan på uppvärmningsbehovet
- temperatursänkning inomhus reducerar uppvärmningsbehovet.

Kommentar: Resultaten baseras enbart på teoretiska simuleringar.

Referens 30

Sartain E L, Harris W S. Heat flow characteristics of hot water floor panels. American Society of heating and ventilating engineers transactions 1954, vol. 60, pp 103 – 120, 1954.

Syfte: Att undersöka hur inomhusklimatet påverkas av en platta på mark med golvvärme och vilken värmeavgivning som erhålls vid olika isolerutföranden. Undersökningen genomförs i det icke stationära fallet.

Metod: Mätningar i rum. I en byggnad fanns 4 stycken rum som hade olika golvbeläggning, typiska vid denna tid, och i ytterväggarna har fönster monterats. Ytterväggen utsattes för varierande utomhusklimat. Man mätte inomhusmiljön och värmeförlusten på olika ställen i grundkonstruktionen.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Stabil inomhustemperatur.
- Grunden har en isolerverkningsgrad motsvarande 86 %, det vill säga 14 % högre uppvärmningsbehov jämfört med radiatorfallet.
- Det var inte värt att lägga isolering under hela plattan, detta lönar sig inte. Det räcker med att partiell vid ytterkanten lägga isolering.
- De anser att golvvärme medför 10 % högre uppvärmningsbehov

Kommentar: Måste vara billig energi, då det inte lönar sig att värmeisolera grunden.

Referens 31

Sartain E L, Harris W S. Performance of covered hot water floor panels part I and II. Part I: American Society of heating and Ventilating engineers transactions 1956, vol. 62, pp 55 – 70. Part II: American Society of heating and air conditioning engineers transactions, vol. 63, pp 209 – 23, 1957.

Dessa artiklar är fortsättning på ovanstående.

Syfte: Att undersöka hur inomhusklimatet påverkas av en platta på mark med golvvärme och vilken värmeavgivning som erhålls vid olika isolerutföranden och olika golvbeläggningar. Undersökningen genomförs i det icke stationära fallet.

Metod: Mätningar i rum. I en byggnad fanns 4 stycken rum som hade olika golvbeläggning, typiska vid denna tid, och i ytterväggarna har fönster monterats. Ytterväggen utsattes för varierande utomhusklimat. Man mätte inomhusmiljön och värmeförlusten på olika ställen i grundkonstruktionen. Olika golvbeläggningar appliceras på golvet's inneryta

Resultat: Följande resultat redovisas

- Temperaturgradienten liten, lika med olika golvbeläggning
- Högre framledningstemperatur krävs då golvbeläggningen har högt värmemotstånd
- Ökande värmemotstånd hos golvbeläggningen medför högre varierade inomhustemperatur.
- Yttemperaturen på fönstret är oberoende av uppvärmningssystem, det vill säga med radiator och golvvärme erhålls samma fönstertemperatur

Kommentar: Redan på 1950-talet gjordes upptäckter om värmeförlusterna i grunder med golvvärme. Man kan notera att i denna undersökning införs något som kan liknas med isolerverkningsgrad för att beskriva värmeförlusterna i grunden. Den sista punkten om att yttemperaturen på fönster är lika för golvvärme och radiator kan vara tveksam.

Referens 32

Schata M. Evidence of heating system in controlling house-dust mites and moulds in the indoor environment. Indoor air 90, proc. 5th int. conf. Indoor air quality and climate. Volume 4. Building and system assessments and solutions int. conf. on indoor air quality and climate, p 577 – 58, Toronto 1990.

Syfte: Att jämföra radiator med golvvärme och hur dessa påverkar förekomsten av mögel och kvalster i byggnader.

Metod: Mätningar av förekomsten av kvalster och mögel har genomförts i flera byggnader som har golvvärme eller radiatoruppvärmning.

Resultat: Av resultaten framgår det att föroreningar i mattor, lakan etc. är mindre i byggnader som har golvvärme som uppvärmningssystem. Enligt författarna är golvvärme preventivt mot allergener.

Kommentar: Intressanta resultat, dock frågar man sig om inte andra faktorer påverkar detta, som till exempel den relativa fuktigheten, beteende? Hur stor är felmarginalen?

Referens 33

Schaplmann D. Heat output and heat losses of floor heating. New energy conservation technologies and their commercialisation. Proceedings of an int. conference in Berlin, april 1981, 3 volymer.

Syfte: Att undersöka hur värmetransporten i en grund som utföres med golvvärme påverkas av olika parametrar vid stationärt tillstånd.

Metod: Mätningar har genomförts i ett rum med golvvärme med en kall vägg och ett fönster. Man har varierat golvbeläggningen för att undersöka hur värmeöverföringen till inomhusmiljön och värmeförlusten genom golvbjälklaget påverkas av detta. I undersökningen ingick även att se hur framledningstemperaturen påverkas av olika golvbeläggningar.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Värmetransporten till inomhusmiljön påverkas av golvbeläggningen. Ökar golvbeläggningens värmemotstånd minskar värmetransporten till inomhusmiljön. Framledningstemperaturen måste således öka för golvbeläggningar med högt värmemotstånd så att erforderlig värmeeffekt till inomhusmiljön erhålls.
- Värmeförlusten genom golvbjälklaget kan reduceras genom att öka värmemotståndet under slingan.

Kommentar: När man studera hur värmetransporten fördelas kan man på ett enkelt sätt använda isolerverkningsgraden. Den ger svaret direkt utan att genomföra teoretiska simuleringar.

Referens 34

Shia-hui P, Peterson F, Convection from a cold window with simulated floor heating by means of a transiently heated flat unit. Energy and buildings, 23, 1995.

Syfte: Att undersöka hur golvvärme påverkar den neråtgående luftströmmen från fönstret vid icke stationärt förhållande.

Metod: Mätningar genomfördes i en klimatkammare. En yttervägg med ett fönster delade ett kallt (konstant -12 °C) och varmt rum (varierande temperatur). Enbart under fönstret simulerades golvvärme, med en ca 0.5 meter bred värmefolie. Övriga delar av golvytan hade ingen golvvärme

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Golvvärme hade liten inverkan på hastighetsfältet vid fönsterytan.
- Fönstrets yttemperatur steg med golvvärme.

Kommentar: Vet inte hur representativ denna undersökning är för verkligt fall med avseende på avgiven värmeeffekt. I välisolerade hus kan värmeeffektbehovet vara liten. Fördelas liten värmeeffekt per ytandel av golvytan kan det innebära att värmeeffekten under ett fönster som avges från golvvärmen är så liten att kallras uppstår, vilket kan resultera i reducerad inomhuskomfort.

Referens 35

Steimle F, Mengede B. Development and investigation of a combined ventilation and floor-heating system, Energy impact of ventilation and air infiltration. 14th AIVC conference – energy impact of ventilation and air infiltration, Copenhagen, Denmark, 12 – 23. September 1993. Air infiltration and ventilation centre, Warwick, UK, 121 – 129, 1993.

Syfte: Att undersöka ett nytt system med golvvärme där man låter tilluften passera genom ett golvvärmesystem.

Metod: Mätningar. Systemet är uppbyggt så att förvärmad tilluft går i luftkanaler under en golvbeläggning så att en transmission sker till inomhusmiljön från luftkanalen. Sedan tillförs luften inomhusmiljön vid ytterväggen genom ett tilluftsdon i golvet. Tre varianter av systemlösningar undersöktes:

1. Förvärmad luft passerar genom golvvärmesystemet och in till inomhusmiljön genom ett galler i golvet.
2. Förvärmad och eftervärmad luft. När luften inkommer till kanalerna i golvvärme systemet är den förvärmad till en specificerad temperatur. Innan den tillförs inomhus-

miljön uppvärms den så att den har en övertemperatur. Då antas risken för upplevelse av drag minskar.

3. I golvvärmesystemet har rörslingorna med vatten som värmebärare lagts in. Under slingan går ventilationsluften och ovan ligger golvbeläggningen. Tilluften är förvärmad innan den tillförs luftspalten under golvbeläggningen. Den förvärms således samtidigt också av golvvärmen.

Resultat: Följande resultat rapporteras, (för system 1 redovisas inte resultat, det används som referenssystem)

4. Det är mycket jämn yttemperatur på golvet innersida.
5. För system 2 (punkt 2 ovan): 50 % av värmeavgivningen sker genom förvärmning av luften och 50 % sker genom uppvärmning innan luften tillförs inomhusmiljön. Cirka 57 % av totalt till luften tillfört värme (förvämt + eftervämt) till inomhusluften sker genom ventilationsluften. Lufttemperaturen blir därför lättreglerad.
6. För system 2: Av värmeöverföring från golvytan (ej ventilationsluftflödet) till inomhusmiljön sker 72 % genom strålning och 28 % genom konvektion.
7. För system 3: Lufttemperaturen ökar när luften strömmar i luftspalten under golvbeläggningen. Det innebär att tilluftslufttemperaturen är väsentligt högre än lufttemperaturen vid inloppet.
8. För system 3: 90 % av värmeavgivningen sker från golvytan till inomhusmiljön, varav 75 % utgörs av strålning och resterande 25 % är konvektion.
9. För system 3: Tilluftens temperatur är nästan konstant oberoende av ventilationsluftflödet ökar.

Kommentar: Detta var en intressant lösning; ventilationsluft i kombination med golvvärme. Det ställer höga krav på lufttäthet etc. så att luften strömmar som avsett, vilket annars kan äventyra funktionen.

Hur klaras rensbarheten i detta system?

Övertempererad luft kan ge upphov till försämrad luftutbyteseffektivitet om luften inte tillförs med en jetstråle eller om man på annat sätt åstadkommer en omblandande ventilation.

Referens 36

Strada M. A finite element design procedure for floor radiant panels. Clima 2000 second world congress on heating, ventilating, refrigeration and air conditioning. Vol. 1 heat and mass transfer in buildings. JUKO KGH, Sarajevo, Yugoslavia, September 1989, pp. 106 – 123, 1989.

Syfte: Att genomföra en mindre parameterstudie för att visa hur olika parametrar påverkar det termiska tillståndet i en grund vid stationärt förhållande.

Metod: Teoretiska simuleringar genomfördes för ett mellanbjälklag med golvvärme och två olika isolerutföranden.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Att golvet temperaturfördelning (inte lika stor men har samma form) på innersidan när värmeisoleringens tjocklek under värmeslingan var mellan 20 mm och 50 mm.
- Värmeövergångsmotståndet på innersidan har stor inverkan på golvytans temperatur. När värmeövergångsmotståndet ökar stiger yttemperaturen på golvytan, när det i övrigt är samma förhållanden.
- Värmeisoleringen, (0 och 50 mm) under värmeslingan påverkar kraftigt värmeförlusten till marken.
- Om C-avståndet ökar minskar värmeflödet till inomhusmiljön.

Kommentar: I kapitel 8 redovisas hur golvets ytemperaturen i en grund med golvvärme kan beräknas. Ekvationerna bekräftar ovanstående. I kapitlet framgår det också att värme-flödet från golvytan minskar när c-avståndet ökar (under förutsättning att temperaturen i slingan är konstant). Orsaken till detta är enkel, det blir färre värmekällor, vilket resulterar i lägre värmeavgivning från golvytan.

Referens 37

Tiitso L. Golvvärme i flerbostadshus, en teknisk och komfortmässig jämförelse med radiatorsystem. TRITA-BYMA 1998:8E KTH. ISSN 0349-5752. Kungliga tekniska högskolan, Stockholm 1998.

Syfte: Att jämföra golvvärme och radiatorsystem i flerbostadshus.

Metod: Mätningar och teoretiska simuleringar samt enkätundersökning. Undersökningen genomförs för ett tre-planshus som har golvvärme i bottenbjälklaget och i mellan bjälklagen.

Enkätundersökningen avser olika frågor som till exempel hur de upplever inomhus-komfort etc.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Värmeeffekten i värmeslingan i mellanbjälklaget fördelas jämn uppåt och nedåt, cirka 50 % åt vardera håll. I bottenbjälklaget tillförs 85 – 87 % inomhusluften.
 - Systemet svärreglerat på grund av tung byggnad.
 - De flesta tycker att golvvärme ger bättre komfort än övriga uppvärmningssystem.
- Författaren ge också följande förslag till förbättring av golvvärmesystemen
- Använd flytande golv för att minska trögheten.
 - Använd förvärmad tilluft tillsammans med golvvärme. Då kan temperatur-svängningarna inomhus reduceras.

Kommentar: Det framgår att hälften av värmeflödet går nedåt och resten uppåt i mellanbjälklaget. Detta kan direkt erhållas av den globala isolerverkningsgraden.

Referens 38

Wit J, Paulsen O. Gulvvarmeanlæg, varmeafgivelse og regleringsegenskaper for gulvvarmeanlæg. ISBN 87-7511-606-5. Varme- og Installationsteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup 1985.

Syfte: Att undersöka en golvvärmeanläggnings prestanda med avseende på värmeflödestäthet och styr- och regleregenskaper. Både stationärt och icke stationärt förhållande studeras.

Metod: Mätningar i laboratorium. En modell av ett golv med olika golvbeläggningar har byggts upp i ett laboratorium. Det finns möjlighet att mäta värmeförlusterna och avgiven värmeeffekt till rummet genom konvektion och strålning.

Golvkonstruktionen består av en bas av isolering av typen Styrolit (EPS-cellplast). Isoleringen är spårad där rören förläggs. Golvbeläggningen har utgjorts av klinker+matta, spånplatta, och spånplatta+matta. Det finns temperaturutjämnande plåtar i konstruktionen.

Följande reglerstrategier har använts:

Självreglering. Med självreglering menas att framledningstemperaturen hållits konstant. Vid en temperaturförändring av inomhusklimatet kommer avgiven effekt att anpassas sig efter de nya förhållandena. Till exempel om extra värme tillförs rummet kommer rumstemperaturen

	att öka vilket leder till att mindre värmeeffekt kommer att avges från golvet på grund av mindre temperaturskillnad mellan luft och golvyta.
<i>Nattsänkning</i>	Med nattsänkning menas här att man slår på pumpen och registrerar hur den avgivna värmeeffekten från golvet varierar i tiden.
<i>radiatorventil</i>	En radiatorventil med kontinuerlig flödesreglering med P-bandet 19 – 21 °C används till reglering.
<i>on-off reglering</i>	Regleringen sker genom att vatten slås på och av inom intervaller 20 – 20.2 °C.

En teoretisk modell används för att simulera det dynamiska fallet.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Högre framledningstemperatur krävs i trägolv jämfört med betonggolv.
- Om golvbeläggningen utgörs av trä är det trögare jämfört med en radiatoranläggning.
- Författarna anser att 3 – 8 % kan sparas med nattsänkning. Emellertid anser de också att i byggnader med stor värmekapacitet kan det vara svårreglerat.
- Det är viktigt med ett korrekt injusterat styr- och reglersystem.
- 60 – 70 % av värmeöverföringen från golvet till inomhusmiljön sker genom strålning.
- Om matta läggs på indikerar mätresultaten att höjd framledningstemperaturen krävs.
- Grunder med golvvärme bör ha extra värmeisolering för att motverka en förhöjd värmeförlust.
- Golvbeläggning av trä kräver något högre framledningstemp än betong eller klinkerbeläggning
- Givarna lämpigt placerade så att korrekt temperatur mäts.

Referens 39

Yoshino H et al. Investigation if indoor thermal environment, air quality and energy consumptions in new detached houses of wood-frame construction in a small city in Japan. Environmental International Vol. 16 pp 37-52, 1990.

Syfte: Att mäta energianvändning, luftkvalitet och termisk komfort i nybyggda trähus i japan. Husen har olika uppvärmningssystem och är värmeisolerade med en tjocklek på 0 till 15 cm, beroende på hus.

Metod: En teoretisk modell valideras med mätningar. Energikonsumtionen beräknades på basis på vad de boende betalade för energin de använt.

Resultat Med golvvärme erhålles lägre temperaturgradient i höjdlid jämfört med luftvärmare (space heatres). Strålningstemperaturen är högre med golvvärme, det vill säga inomhuskomforten upplevs som högre med golvvärme. Mätningar och teoretiska mätningar stämmer överens.

Referens 40

Youcef L. Two-dimensional model of direct solar slab-on-grade heating floor. Solar energy, vol.46 no. 3, pp. 183-189,1991.

Syfte: Att i första hand undersöka hur solvärme kan integreras tillsammans med ett golvvärmesystem vid icke stationärt förhållande. Det ingick även att undersöka värmeförlusten från grunden till marken och temperaturförhållanden i underliggande mark.

Metod: Teoretiska simuleringar och mätningar. Mätningar genomfördes i en byggnad placerad 10 km från Bordeaux i Frankrike, vilket anses vara ett relativt varmt klimat. Grunden utgörs av en platta på mark. Temperaturen mäts i grunden och i underliggande mark på olika djup, 50 och 80 cm från plattans undersida. Två värmeledningsgivare har monterats i grunden, en under golvbeläggningen och en under betongplattan (värmeledningsgivarna är placerade 2.2 m från ytterväggen insida, plattans bredd 9.6 m). Man undersökte även hur partiell isolering av plattan påverka värmeförlusten ner i marken. Den partiella värmeisoleringen hade bredden 1.2 m räknat från ytterväggens insida

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Beräknade temperaturer i grunden och underliggande mark stämmer överens med uppmätta temperaturer.
- En skillnad mellan beräknad och uppmätt inomhustemperatur kan observeras. Beräknad temperatur är upp till 2 °C högre. Enligt författarna beror detta på att värmeförlusten till marken underskattats i simuleringarna.
- Att värmeisolering under grunden även behövs i mindre kalla klimat.

Referens 41

Yamagishi K et al. Investigation of heating system for a high-ceilinged room in a house. ASHRAE Transactions Identifier p-issn 0001-2505, Jan 1990.

Syfte: Att jämföra hur olika uppvärmningssystem påverkar den termiska inomhuskomforten i en byggnad med hög rumshöjd, 5.4 m.

Metod: I undersökningen genomförs både teoretiska simuleringar och mätningar i ett provhus, utsatt för verkligt väder. Följande uppvärmningssystem jämförs: Golvvärme, luftvärme och kombination av dessa. Man mäter bland annat temperatur och lufthastighet i höjddled i rummet.

Resultat: På basis av mätningar och PMV-index kommer man fram till att kombinationen av golvvärme och luftvärme är den bästa lösningen med avseende på PMV-index.

Kommentar: Bygganden är inte direkt jämförbar med svenska byggnader. Klimatskärmen i svenska byggnader har högre värmemotstånd, vilket påverkar ytemperaturen och därmed den termiska inomhuskomforten.

Referens 42

Örberg L. Värt att veta om golvvärme. Golvvärme L Örberg AB, Mjölby, 1988.

I rapporten genomgås grundligt om hur golvvärme fungerar. Han behandlar enbart vattenburen golvvärme och skriver bland annat följande:

- Att Med golvvärme är det ingen eller liten temperaturskillnad i höjddled inomhus.
- Att golvvärme ger den bästa inomhuskomforten av alla uppvärmningssystem
- Att med golvvärme kan man sänka inomhustemperaturen med 1-2 °C och ändå erhålla samma inomhuskomfort som med radiator.
- Att man skall isolera väl under värmeslingan och att värmemotstånd ovan försämrar värmeavgivningen.
- Att golvets tidskonstant bestäms av betonggolvets tjocklek
- Att diffusionstäta skikt i grundkonstruktionen skall användas efter noggrant övervägande. Flera diffusionstäta skikt bör undvikas.
- Att reglera golvvärme är inget problem.

- Att nättsänkning enbart medför en marginell vinst av energianvändningen. Härutöver kan det vara problem med att reglera detta på grund av tröghet i grund och byggand
- Att rätt rörmaterial väljs så hänsyn tas till korrosion (kan medföra korrosion i anläggningen) syrediffusion, dessutom tänka på utformning av skarvar fogar så att de ej läcker och röran kan expandera

Kommentar: I skriften återges bra information om golvvärme. Emellertid saknas beskrivning om hur golvvärme påverkar fukt och värmetransporten i en grund med golvvärme.

5.2 Fukt

Fukt är en viktig faktor att ta hänsyn till vid utformning av en byggnad. Om fuktskador uppträder kan det medföra att omfattande reparationer får genomföras till en hög kostnad. Hög fukthalt i byggnadsmaterial kan också leda till att de avger mer eller mindre skadliga emissioner till inomhusluften, som kan medföra att de boende får hälsoproblem, så kallat ”sick building syndrome”.

Med golvvärme i en grundkonstruktion påverkas det byggnadsfysikaliska tillståndet väsentligt. Den varma grunden har förmågan att torka ut fukt och detta måste beaktas när grunden projekteras, framförallt vid renovering.

Elmarsson B. Byggnadsfysikaliska synpunkter på golvvärme, Utdrag ur rapporten, Golv på mark, seminarium. LUTVDG/(TVBH-7134)1-98/(1992). Lund 1992.	Referens 43
Mattson E. Mätning och beräkning av uttorkningsförloppet för betongbjälklag med golvvärme. Examensarbete E-01:2. Inst. för Byggnadsmaterial CTH. Göteborg 2001.	Referens 44
Nilsson, L O, Andersson A C. Golvvärme I betonggolv, temperaturberäkningar, analys av fuktbalansen. Avd. för byggnadsmaterial, LTH. LUTVDG/(TVBM – 7002), ISSN 0348-7911. Lund 1981.	Referens 45

Referens 43

Elmarsson B. Byggnadsfysikaliska synpunkter på golvvärme, Utdrag ur rapporten, Golv på mark, seminarium. LUTVDG/(TVBH-7134)1-98/(1992). Lund 1992.

Syfte: Att studera hur grundkonstruktionens fuktkapacitet och temperaturdifferensen över värmeisoleringen påverkar fukttillståndet i en platta på mark.

Metod: En teoretisk studien genomförs för en platta på mark med underliggande isolering som utgörs av 200 mm EPS-cellplast. Byggnaden har normal bredd.

Resultat: Resultaten visar att temperaturdifferensen över värmeisoleringen är cirka 8°C i plattans mitt baserat på årsmedel. Under sommaren blir dock temperaturdifferensen lägre, cirka 4 °C. Beräkningarna visar att fuktrögheten är så stor att årsvariationer i fukttillståndet dämpas ut. En mindre temperaturdifferensen över isoleringen behöver därmed inte vara skadlig, det vill säga medför att ett högt fukttillstånd uppträder under golvbeläggningen.

Kommentar: Visar att värmeisoleringens tjocklek har stor betydelse vilket var att vänta, om resultaten jämförs med Nilssons resultat.

Referens 44

Mattson E. Mätning och beräkning av uttorkningsförloppet för betongbjälklag med golvvärme. Examensarbete E-01:2. Inst. för Byggnadsmaterial CTH. Göteborg 2001.

Syfte: Att undersöka och förstå fuktmekanismen i betongbjälklag med golvvärme, särskilt vid uttorkning. Ett annat syfte var att finna ett nominellt djup för relativ fuktighet (rf), som kan användas vid uttorkning. Detta innebär att när rf uppnått ett visst värde på nominellt djup kan golvbeläggningen appliceras på ytan och då erhålls samma rf i betongplattan efter omfördelning av fukt.

Metod: Både mätningar och teoretiska simuleringar har genomförts för ett betongbjälklag.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Beräkningar och mätresultat överensstämmer ej.
- Det gick inte finna ett nominellt djup för RH som kan användas för uttorkningsförlopp.

Kommentar: Ett bra examensarbete med hög nivå.

Referens 45

Nilsson, L O, Andersson A C. *Golvvärme I betonggolv, temperaturberäkningar, analys av fuktbalansen*. Avd. för byggnadsmaterial, LTH. LUTVDG/(TVBM – 7002), ISSN 0348-7911. Lund 1981.

Syfte: Avsikten med undersökningen är att fastsätta hur fuktförhållandena är i en platta på mark som utföres med golvvärme.

Metod: Två-dimensionella teoretiska icke stationära simuleringar av temperaturfältet och endimensionell beräkning av fuktförhållandet i mittsnittet för bedömning av fuktförhållandet. Följande faktorer varierades

- plattans bred
- olika isolertjocklekar i randzoner
- olika typer av isolering, mineralull och cellplast
- Golvvärme avstängd olika tider. Golvvärme avstängd i hela plattan 4 månader eller att en del av plattans yta som har golvvärme slås av 4 månader. I ett fall studeras att golvvärme är avstängd en längre tid.

Resultat: Följande resultat resovisas:

- Mineralull får höga relativa fuktigheter i plattan när golvvärme avstängs 3 – 4 månader då ångspärren slopas. Orsaken till detta är den så kallad omvända fukttransporten från underliggande mark till betongplattan.
- Cellplast i grunder utan ångspärr kan användas för plattbredder under 15 m.
- I byggnader där golvvärme monterats i delar av grunden bör alltid ångspärr användas närmast golvvärmeslingan.
- Uttorkning går snabbare i mineralull, givetvis, men så uppfuktas den också snabbare när golvvärme stängs av. Med cellplast tar det längre tid för uttorkningen.

Kommentar: Detta är en av de få referenser som behandlat fuktförhållandena i en grund som utföres med golvvärme. Undersökningen genomfördes enligt 1981 års förhållanden, vilket innebar att isolertjockleken ej var så stor, 4 – 8 cm i undersökningen. Idag är isolertjockleken > 150 mm, vilket kommer att ge andra resultat än de som rapporterats ovan.

5.3 Styr- och reglerstrategier

Styr- och reglersystem utgör en viktig del av byggnaden system. Dess funktion är att säkerställa att önskat inomhusklimat erhålls.

Akander J et al. Ett elbaserat golvvärmesystem mätningar och beräkningsmodeller. Inst. för byggnader och installationer. BFR projekt 920377-1. KTH 1994.	Referens 46
Cluer M C. Analysis and simulation of outdoor reset control of radiant slab heating systems, ASHREA transactions, 1990.	Referens 47
Lood A. Datorreglerad golvvärme. Rapport TABK—98/1019. Inst. för byggnadskonstruktionslära. 1998 LTH.	Referens 48
Takakura T et al. Feed forward control for a floor heat greenhouse. Journal Title Transactions of the ASAE. ISSN 0001-2351, 1994.	Referens 49
Leigh S B. An experimental approach for evaluating control strategies of hydronic radiant floor heating systems. University of Michigan. Michigan 1991.	Referens 50
Leigh S E. An experimental study of the control of radiant floor heating systems: proportional flux modulation vs outdoor reset control with indoor temperature offset. ASHRAE 1991, IN – 91- 10-3.	Referens 51
Zaheer-Uddin et al. Optimal operation of an embedded-piping floor heating system with control input constraints. Journal Info Energy conversion and management. 1997 v 38 nr 7, SICI 0196-8904(1997)38:7L.713:OOEF.	Referens 52

Referens 46

Akander J et al. Ett elbaserat golvvärmesystem mätningar och beräkningsmodeller. Inst. för byggnader och installationer. BFR projekt 920377-1. KTH 1994.

Syfte: Att undersöka ett golvvärmesystem och validera beräkningsmodell för stationärt och transient förhållande.

Metod: Teoretiska simuleringar och mätningar har genomförts. Studien avser en typ av grund där värmekällan utgörs av en värmekabel som förläggs i ett specificerat gipslamell som är en del av grundkonstruktionen. En frekvensanalys genomförs, vilket innebär att kabelns värmeeffekt varierar enligt ett pulståg. Genom att studera hur konstruktionen reagerar för pulståget kan man optimera en reglerstrategi för konstruktionen

Resultat: Mätningar och teoretiska simuleringar visar överensstämmelse.

Kommentar: Det finns olika sätt att studera golvvärme i det transienta fallet. Här valdes frekvensdomänen istället för tidsdomänen. Båda modellerna förutsätter linjärt system, det vill säga inget materials värmeledningsförmåga är temperaturberoende. Det liknar en typ av Siegler-Nicholson inställning .

Referens 47

Cluer M C. Analysis and simulation of outdoor reset control of radiant slab heating systems, ASHREA transactions, 1990.

Syfte: Att jämföra två reglerstrategier, framkoppling och värmeeffektmodulering, icke stationärt förhållande. Ingen hänsyn tas till interna och externa värmelaster.

Metod: Teoretisk modellering.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Att skillnaden är liten i inomhustemperaturen mellan reglerstrategierna för en tung byggnad.
- Att skillnaden mellan de olika strategierna är större då byggnaden utgörs av en lätt konstruktion. Värmeeffektmoduleringen visar bättre reglering av inomhustemperaturen.
- Att framkoppling är bättre reglerstrategi för att erhålla en bättre inomhustemperatur för både en lätt och termisk tung byggnad när det sker en temperatursänkning utomhus. I resultaten framgår det också att inomhustemperaturen oscillerar mer vid värmeeffekt modulering.
- Att inomhustemperaturen oscillerar med värmeeffektmodulering när inomhustemperaturen plötsligt sänks.

Författaren hävdar att värmeeffektmodulering är bättre. Den tar bättre hänsyn till interna laster, solinstrålning, aktiviteter etc., vilket inte framkoppling gör. Värmeeffektmodulering är enligt författaren billigare.

Kommentar: Ur praktisk synvinkel, hur styrs flödesreglering i olika rum? Man kan inte ha en panna för varje rum? Om man har rumsgivare med eller utan framåtkoppling bör väl samma funktion erhållas som vid värmeeffektreglering? Det finns ett antal praktiska frågor att lösa innan man kan säga att detta är ett billigare och bättre system.

Referens 48

Lood A. Datorreglerad golvvärme. Rapport TABK—98/1019. Inst. för byggnadskonstruktionslära. 1998 LTH.

Syfte: Undersökningen syftar till att undersöka olika reglerstrategier samt hur värmetransporten påverkas av valet av reglerstrategi.

Metod: Mätningar och teoretiska simuleringar. Undersökningen genomförs en platta på mark. Man använder en P/PD-regulator med stor förstärkning och antar att betongplattans fungerar som en integrerande del i reglerstrategien. Följande reglerstrategier studeras huvudsakligen

- Framkoppling från utomhustemperatur
- Återkoppling från inomhustemperatur
- utnyttjande av nattlagring av värme i betongplattan

Resultat: Följande resultat redovisas

- P eller PD regulator kan reglera mot ett börvärde med gott resultat. Med PD blir över-svängningarna något mindre.
- Stor tidsfördröjning från förändring av värmeeffekt i värmeslingan till att inomhusluftens temperatur förändras.
- Enligt framtagen datormodell kan man utnyttja betongplattan för nattlagring av värme. Detta medför emellertid, att plattan blir varmare under tiden som upplagring sker.
- Golvvärme medför att värmeförlusten ökar. Värmeförlusten ökar med 7 % då värmeisoleringen är 100 mm tjock.

Kommentar: Varför studerades enbart stegvis förändringar av inomhustemperaturen, det skulle vara kul att se hur stabilt systemet är när man provocerar det med varierande internlast.

Referens 49

Takakura T et al. Feed forward control for a floor heat greenhouse. Journal Title Transactions of the ASAE. ISSN 0001-2351, 1994.

Syfte: Att studera hur temperaturen varierar i ett växthus med framkoppling, där en utomhusgivare styr framledningstemperaturen. Kan man prognosstyra ett golvvärmesystem för växthus vid stationärt förhållande

Metod: Teoretisk simulering samt validering med mätningar. I ett rum regleras temperaturen enligt en given kurva. I rummet är ett provhus uppställt i vilken temperaturen regleras på basis av temperaturen i andra rummet.

Resultat: Temperaturen i växthuset går bra att reglera enligt principen framåtkopplat. Det är små avvikelser från börvärdet.

Kommentar: Klimatet i växthus är komplicerat att reglera. Temperaturväxlingar etc. kan bli stor på grund av sol eller annat väderomslag. Klimatskärmen består enbart av glas varför väderväxlingarna slår igenom lätt, vilket gör att det. I praktiken mycket mer svår-reglerat än i det ovan förenklade fallet.

Referens 50

Leigh S B. An experimental approach for evaluating control strategies of hydronic radiant floor heating systems. University of Michigan. Michigan 1991.

Syfte: Att undersöka hur stabila värmeflödesreglering är i jämförelse med inomhus-temperaturreglering.

Metod: I laboratorium genomförs mätningar i två likadana klimatrum där båda har en yttervägg exponerad mot utomhusluften. Två olika reglerstrategier provas för att se hur stabila strategierna är med avseende på inomhustemperatur.

Resultat: Följande resultat rapporteras

- Proportionel värmeeffektmodulering är bättre jämfört med temperaturmodulering (framåtkoppling). Författaren anser att systemet är billigare samtidigt som det är stabilare.
- Med temperaturmodulering är det viktigt med korrekta inställningar.
- Med återkoppling är det viktigt att inomhusgivaren känner av variationer i värmeeffekten.
- Utomhusgivare med framkoppling i kombination med återkoppling (framledningskurvan justeras) är bästa reglerstrategi med avseende på temperaturmodulering.

Kommentar: Studien omfattas enbart av termisk lätt konstruktion. För konstruktioner med stor värmekapacitet kan strategierna medföra annan stabilitet. Detta är ett omfattande arbete, en doktorsavhandling, varför enbart slutsatserna återges. Man har också utelämnat solinstrålning.

Referens 51

Leigh S E. An experimental study of the control of radiant floor heating systems: proportional flux modulation vs outdoor reset control with indoor temperature offset. ASHRAE 1991, IN – 91- 10-3.

Syfte: Att undersöka olika reglerstrategier; framledning med central återkoppling och värmeeffektbehovs reglering, för golvvärme.

Metod: Icke stationär mätning i ett provrum som har en yttervägg mot utomhusluften. Övriga väggar var orienterade mot en laboratorielokal. Styr- och reglersystemet stabilitet undersöktes vid följande fall

- Varierande intern värme och kyla i rummet
- Uppstarttid, det vill säga hur lång tid det tar tills det att önskat inomhusklimat erhållits efter det att systemet startats.

Resultat: Av resultaten att döma är det liten skillnad mellan de olika reglerstrategierna med avseende på stabilitet och reglerbarhet.

Kommentar: Man undrar hur energieffektiv de olika styr- och reglersystemen är. I uppstartskedet är medeltemperaturen högre i grundkonstruktionen vid värmeeffektregleringen (jämför fram- och returtemperaturen i slingan). Hur påverkar detta energieffektiviteten i fortvarighet? Författaren framför åsikten att värmeeffektreglering är en alternativ metod till den andra på grund av att funktionen är lika och att det är ett billigare system.

Referens 52

Zaheer-Uddin et al. Optimal operation of an embedded-piping floor heating system with control input constraints. Journal Info Energy conversion and management. 1997 v 38 nr 7, SICI 0196-8904(1997)38:7L.713:OOEF.

Syfte: Att optimera värmeeffektmodulering av golvvärme vid icke stationärt förhållande.

Metod: Teoretisk simulering. De inför nya variabler för att minimera energianvändningen samtidigt som inomhustemperatur hålls vid ett stabilt värde. De nya variablerna som införs är normaliserat vattenflöde i slingan och normaliserat energitillflöde till förbrännaren i pannan. Man reglerar mot pannans temperatur och inomhustemperatur. Man har alltså infört ytterligare en faktor (panntemperaturen) för att minimera energianvändningen och för att erhålla bättre prestanda vid transient förhållande.

Man studerar också prognosstyrning och hur modellen fungerar när verklig temperatur avviker från prognosen och vad detta medför.

Resultat: Det framgår av resultaten

- Att värmeeffektmodulering enligt denna modell fungerar bra. Inomhustemperaturen är mycket stabil.
- Att när prognosstyrning används och när utomhusklimatet avviker från prognosen så varierar inomhustemperaturen inom intervallet ± 0.5 .

Kommentar: Jämförs resultaten med McCluers resultat så är denna reglerstrategi stabilare.

6 Isolertjocklek radiator – golvvärme

Idag framförs det att isolertjockleken skall ökas med 25 % i grunden för att värmeförlusten skall bli lika stor som fallet utan golvvärme. Om värmeförlusten till marken är lika stor erhålls följande uttryck

$$U_0(d_0) = U_0(d_g) + (1 - \eta(d_g)) \cdot \frac{Q_{vs}}{A_g \cdot \Delta T} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \quad (6.1)$$

Där

d_0 är lika med isolertjockleken i grunden utan golvvärme (m)

d_g är lika med isolertjockleken i grunden med golvvärme (m)

Q_{vs} är lika med värmeeffekt i slingan (W)

$\eta(d_g)$ är lika med isolerverkningsgrad

$U(d_g)$ är lika med grundens U-värde med golvvärme

$U(d_0)$ är lika med grundens U-värde utan golvvärme

Att beräkna isolertjockleken innebär ett iterativt förfarande av ovanstående ekvation eftersom $U(d_g)$ och isolerverkningsgraden, $\eta(d_g)$ varierar med isolertjockleken. Om följande uttryck i Roots, 1998:

$$\eta(d_g) = 1 - U_0(d_g) \cdot R_{in} \quad (6.2)$$

Sätts in i ovanstående ekvation erhålls

$$\begin{aligned} U_0(d_0) &= U_0(d_g) + (1 - (1 - R_{in} \cdot U_0(d_g))) \cdot \frac{Q_{vs}}{A_g \cdot \Delta T} = \\ U_0(d_g) + R_{in} \cdot U_0(d_g) \cdot \frac{Q_{vs}}{A_g \cdot \Delta T} &= U_0(d_g) \left(1 + R_{in} \cdot \frac{Q_{vs}}{A_g \cdot \Delta T} \right) \\ U_0(d_g) &= \frac{U_0(d_0)}{\left(1 + R_{in} \cdot \frac{Q_{vs}}{A_g \cdot \Delta T} \right)} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \quad (6.3) \end{aligned}$$

I ovanstående anges Q_{vs} i W. Man kan emellertid utnyttja byggnadens uppvärmningsbehov istället. Om uppvärmningssäsongens längd är Δt och uppvärmningsbehovet är W erhålles

$$U_0(d_g) = \frac{U_0(d_0)}{\left(1 + R_{in} \cdot \frac{W \cdot 10^3}{\Delta T \cdot \Delta t} \right)} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \quad (6.4)$$

Där

W är lika med kWh/m²år

Exempel

Nedan beräknas vilket U-värde som grunden med golvvärme bör ha för att värmeförlusten skall vara lika med värmeförlusten genom samma grund utan golvvärme. Uppvärmningsbehovet, W , = 100 kWh/m²år. R_{in} = 0.33, $T_i - T_u$ = 20 °C, Δt = 265 (dagar) *24 (h). Med följande indata erhålles följande samband mellan U-värdet för grunden med respektive utan golvvärme

$$U_0(d_g) = \frac{U_0(d_0)}{\left(1 + 0.33 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{20 \cdot 265 \cdot 24}\right)} = U_0(d_0) \cdot 0.794 \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

U-värdet vid golvvärme, $U_0(d_g)$, skall således vara 20.6 % lägre än för grunden utan golvvärme om värmeförlusten skall vara lika. Det innebär **inte** att tjockleken skall vara 20.6% tjockare! Isolertjocklekarna erhålles genom att beräkna U-värdet för grunden utan golvvärme, $U_0(d_0)$, enligt EN ISO 13370. Därefter beräknas vilken isolertjocklek som medför ett 20.6 % lägre U-värde, $U_0(d_g)$, vilket motsvarar U-värdet för grunden med golvvärme. Skillnaden i isolertjocklek, $d_g - d_0$, är lika med differensen mellan isolertjocklekarna för U-värdena.

Exempel

För en platta på mark som har 100 mm isolertjocklek så blir U-värdet för ett enfamiljshus med normala mått $0.295 \text{ W/m}^2\text{K}$ i radiatorfallet. Med golvvärme skall U-värdet vara $0.794 \cdot 0.295 = 0.234 \text{ W/m}^2\text{K}$ för att värmeförlusten skall vara lika med grunden i radiatorfallet. Då värmeisoleringens tjocklek är 145 mm erhålls $0.234 \text{ W/m}^2\text{K}$, det vill säga värmeisoleringens tjocklek i golvvärmefallet skall vara 45 % tjockare än i grunden med radiator.

7 Energibesparing golvvärme – radiator

Uppvärmningsbehovet för radiator är lika med

$$E_r = dt_r \cdot ((T_l - T_u) \cdot K_v + \sum K \cdot (T_{ek} - T_u)) \quad (\text{W/h}) \quad (7.1)$$

Där

T_{ek} är lika med ekvivalent temperatur eller upplevd temperatur

T_l är lika med lufttemperatur

T_u är lika med utomhustemperatur

dt_r är lika med uppvärmningssäsongens längd med radiator

K_v är lika med konduktansen för ventilation

$\sum K$ är lika med konduktansen för transmission genom byggnadsdelarna

I Sverige är hus välisolerade och då kan lufttemperaturen approximativt sättas lika med den ekvivalenta temperaturen, då erhålles

$$E_r = (T_{ek} - T_u) \cdot dt_r \cdot (K_v + \sum K) \quad (\text{W/h}) \quad (7.2)$$

I golvvärmefallet tas hänsyn till skillnad i ekvivalent temperatur och lufttemperatur. Uppvärmningsbehovet blir då

$$E_g = \frac{(T_{ek} - T_u) \cdot dt_g \cdot \sum K + K_v \cdot (T_l - T_u) \cdot dt_g}{\eta} = \{T_{ek} = T_l + \Delta T\} =$$

$$\frac{(T_{ek} - T_u) \cdot dt_g \cdot \sum K + K_v \cdot (T_{ek} - \Delta T - T_u) \cdot dt_g}{\eta} \Rightarrow$$

$$E_g = \frac{dt_g}{\eta} \cdot ((T_{ek} - T_u) \cdot (\sum K + K_v) - K_v \cdot \Delta T \cdot dt_g)$$

(7.3)

Där

ΔT är lika med skillnaden mellan lufttemperaturen och ekvivalenta temperaturen

η är lika med isolerverkningsgrad

dt_g är lika med uppvärmningssäsongens längd med golvvärme

Energibesparingen för golvvärme kan beräknas ur följande ekvation

$$besparing = \frac{E_r - E_g}{E_r} = 1 - \frac{E_g}{E_r} \quad (7.4)$$

Infogas energiåtgången för uppvärmningsfallen enligt ovan erhålls

$$besparing = 1 - \frac{dt_g}{\eta \cdot dt_r} \left(\frac{(T_{ek} - T_u) \cdot (\sum K + K_v)}{(T_{ek} - T_u) \cdot (\sum K + K_v)} - \frac{K_v \cdot \Delta T}{(T_{ek} - T_u) \cdot (\sum K + K_v)} \right)$$

(7.5)

Vi får

$$besparing = 1 - \frac{dt_g}{\eta \cdot dt_r} \cdot \left(1 - \frac{\Delta T}{(T_{ek} - T_u)} \cdot \frac{K_v}{(\sum K + K_v)} \right) = 1 - \frac{dt_g}{\eta \cdot dt_r} \cdot \left(1 - \frac{\Delta T}{(T_{ek} - T_u)} \cdot \theta \right)$$

$$\theta = \frac{K_v}{(\sum K + K_v)}$$

(7.6)

Där θ anger hur stor andel ventilationsförlusten utgör av totala värmeförlusten.

När besparingen beräknas antas en ekvivalent temperatur, normalt 20 °C, och skillnaden mellan ekvivalenta temperaturen och lufttemperaturen. Skillnaden anges i reklam att uppgå upptill 2 °C, men det är tveksamt. 0 till 1 °C är nog mer rimligt. θ faktorn anger hur stor andel ventilationsförlusten utgör av totala förlusten. Beräkningar har visat att för nyproducerade enfamiljshus i Sverige ligger faktorns värde kring 0.40. Den sjunker därefter i sämre isolerade hus.

Exempel

Nedan ges ett exempel på beräkning av energibesparing med golvvärme jämfört med radiator. Exemplet avser ett enfamiljshus med normala mått och värmeisoleringens tjocklek i grunden är 100mm och 300 mm. Av resultaten framgår det att uppvärmningssäsongen längd har mycket stor betydelse på uppvärmningsbehovet.

Indata

$\eta(100 \text{ mm}) = 0.91$, $\eta(300 \text{ mm}) = 0.960$, $\theta = 0.45$, $T_{ek} - T_u = 20 \text{ °C}$. dt = uppvärmningssäsongens längd

	$dt_g = dt_r$				$dt_g = 7 \text{ mån}, dt_r = 6 \text{ mån}$		
isolertjocklek (mm)	$\Delta T=0$	$\Delta T=1$	$\Delta T=2$		$\Delta T=0$	$\Delta T=1$	$\Delta T=2$
100	-9.9 %	-7.4 %	-4.9 %		-28.2 %	-25.3 %	-22.4 %
300	-4.2 %	-1.8 %	+0.5 %		-21.5 %	-18.8 %	-16.1 %

Ovanstående modell är grov map uppvärmningssäsongens längd. Det förutsätts att utomhustemperaturen på våren och tidig höst är lika med medeltemperaturen utomhus under uppvärmningssäsongen, vilket är en grov förenkling. Nedan redovisas en modell där hänsyn tas till detta.

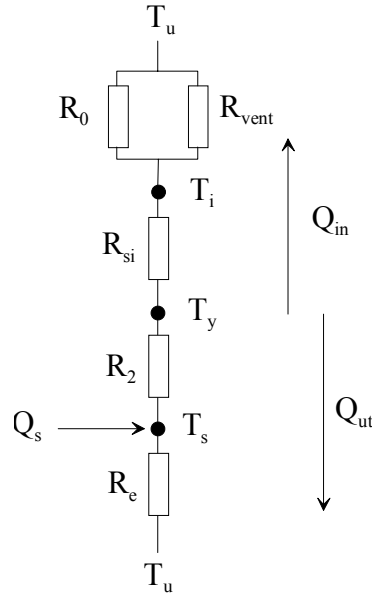
Orsaken till att uppvärmningssäsongen förlängs anges vara att bibehålla det varma golvet. Om golvet ytemperatur höjs, ΔT_y , förändras värmeflödet från ytan till inomhusluften, ΔQ_{in} , enligt figur 7.1 på följande sätt

$$\Delta Q_{in} = \frac{\Delta T_y}{R_{si} + \frac{R_0 \cdot R_{vent}}{R_0 + R_{vent}}} \cdot A_g = \frac{\Delta T_y}{R_{ekv}} \cdot A_g \quad (W)$$

där

$$R_{ekv} = R_{si} + \frac{R_0 \cdot R_{vent}}{R_0 + R_{vent}} \quad (m^2K/W)$$

(7.7)



Figur 7.1. Resistansmodell för en byggnad med golvvärme.

där

R_0 är ekvivalent värmemotstånd för byggnadsskalet ovan mark fördelat på golvytan ($\text{m}^2\text{K/W}$)

R_{vent} är ekvivalent värmemotstånd för ventilation ovan mark fördelat på golvytan ($\text{m}^2\text{K/W}$)

R_2 är värmeövergångsmotståndet mellan golvytan och slingan ($\text{m}^2\text{K/W}$)

R_{si} är värmeövergångsmotståndet ($\text{m}^2\text{K/W}$)

R_e är värmeövergångsmotståndet från värmeslingan till utomhusluften ($\text{m}^2\text{K/W}$)

A_g golvets yta m^2

ΔQ_s förändring av värmeeffekten som i värmeslingan (W)

T_s temperatur i slingan ($^{\circ}\text{C}$)

T_i är inomhustemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Av ändringen av värmeeffekten i värmeslingan tillförs inomhusluften

$$\Delta Q_{in} = \eta \cdot \Delta Q_s \quad (\text{W}) \quad (7.8)$$

där η är global isolerverkningsgrad. Av sambanden ovan erhålls

$$\eta \cdot \Delta Q_s = \frac{\Delta T_y}{R_{ekv}} \cdot A_g \quad (\text{W}) \quad (7.9)$$

Om ytemperaturen förändras ΔT_y $^{\circ}\text{C}$ så förändras värmeeffekten i slingan med

$$\Delta Q_s = \frac{\Delta T_y}{R_{ekv}} \cdot \frac{A_g}{\eta} \quad (\text{W}) \quad (7.10)$$

För en förlängd uppvärmningssäsong med tidsperioden, Δt , åtgår extra energin

$$\Delta E = \Delta t \cdot \Delta Q_s \quad (\text{Wh}) \quad (7.11)$$

Indata till ovanstående ekvation är det ekvivalenta värmemotståndet, R_{ekv} , vilken beräknas på följande sätt

$$R_{ekv} = R_{si} + \frac{R_0 \cdot R_{vent}}{R_0 + R_{vent}} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (7.12)$$

Där

$$R_0 = \frac{A_g}{\sum (U_i \cdot A_i)} \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

$$R_{vent} = \frac{A_g}{\frac{n \cdot V \cdot C_l}{3600}} \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

Där

C_l är luften volymetriska värmekapacitet ($\text{J/m}^3\text{K}$)

n luftomsättning ($1/\text{h}$)

U är lika med U -värdet för en byggnadsdel ovan mark ($\text{W/m}^2\text{K}$)

A_i yta för en byggnadsdel ovan mark (m^2)

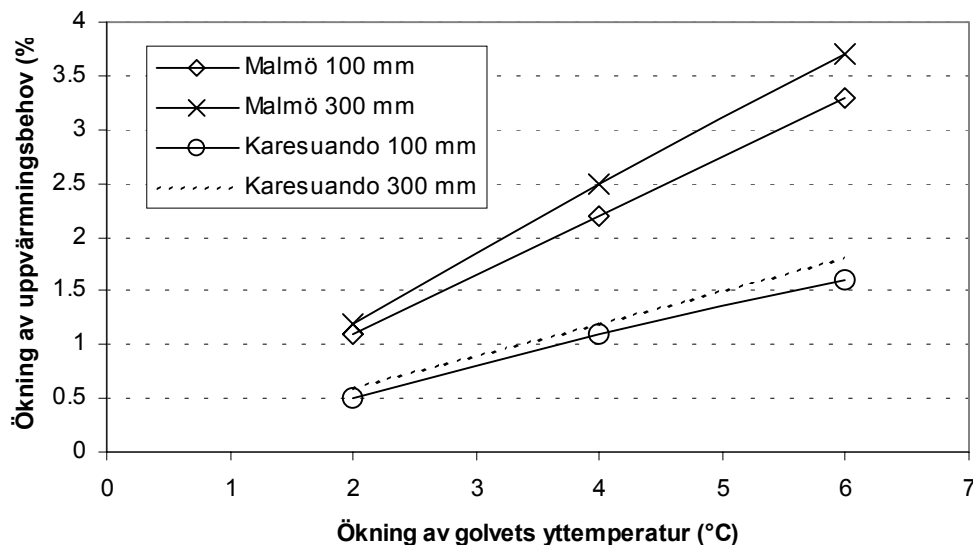
V ventilerad luftvolym inomhus (m^3)

Procentuellt ökar uppvärmningsbehovet pga förlängd uppvärmningssäsong på följande sätt

$$\frac{\Delta E}{E} = 100 \cdot \frac{\Delta t \cdot \frac{\Delta T_y}{R_{ekv}} \cdot \frac{A_g}{\eta}}{G \cdot \left(\sum U_i \cdot A_i + \frac{n \cdot V \cdot C_l}{3600} \right) - Q_{tillskott}^{\text{år}}} \quad (\%) \quad (7.13)$$

Där G är specifiktvärmebehov för aktuell ort och energitillskott från sol, personlast etc. anges som $Q_{tillskott}^{\text{år}}$.

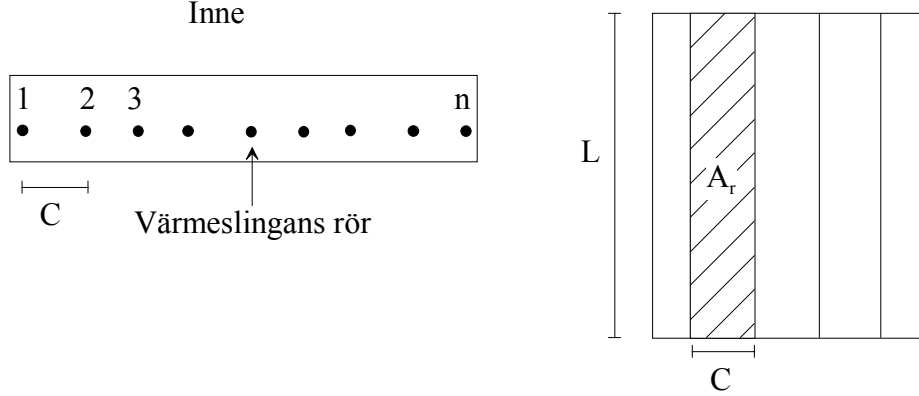
I figur 7.2 redovisas ett beräkningsexempel för ett normalt enfamiljshus när golvet ytemperatur höjs för olika isolertjocklekar för en platta på mark med golvvärme. Resultaten visar att uppvärmningsbehovet kan bli upptill 4 % högre om man förlänger uppvärmningssäsongen med 1 månad enbart för att bibehålla komforten, byggnaden har egentligen inget värmebehov från uppvärmningssystemet.



Figur 7.2. Energibehovets ökning för fallet när uppvärmningssäsongen förlängs 1 månad vid olika isolertjocklekar under en platta på mark med golvvärme.

8 Värmeflödestäthet

I ett bjälklag finns det n antal rör i tvärsnittet som försörjer bostaden med värme. Rören har C -avståndet, C , och mellan varje rör är det en representativ yta, se figur 8.1.



Figur 8.1. Till vänster är ett tvärsnitt av ett bjälklag med n antal rör med C -avståndet C .

Till höger är golvytan där bjälklagets längd är L . A_r är en representativ yta som är mellan slingorna.

Den representativa ytan är lika med

$$A_r = L \cdot C \quad (\text{m}^2) \quad (8.1)$$

Golvets total yta, A_{tot} , är lika med produkten mellan representativ yta och antalet rör, n :

$$A_{tot} = A_{rep} \cdot n \quad (\text{m}^2) \quad (8.2)$$

Kombineras ekvationerna erhålls att golvets totala yta är lika med

$$A_{tot} = L \cdot C \cdot n \quad (\text{m}^2) \quad (8.3)$$

Låt Q_i vara värmeeffekten i rör i och röret har isolerverkningsgraden η_i , då avges värmeeffekten till inomhusmiljön

$$Q_i \cdot \eta_i \quad (\text{W}) \quad (8.4)$$

Totala värmeeffekten, Q_{tot} , avges till inomhusmiljön är lika med summan av varje rörs bidrag

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \eta_i \quad (\text{W}) \quad (8.5)$$

Värmeflödestätheten, q , för hela golvytan är lika med

$$q = \frac{Q_{tot}}{A_{tot}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \eta_i}{A_{tot}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \eta_i}{L \cdot C \cdot n} \quad (\text{W/m}^2) \quad (8.6)$$

Den globala isolerverkningsgraden för hela golvytan definieras på följande sätt

$$\eta_g = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (8.7)$$

Om vi antar att temperaturen är lika i varje rör, det vill säga varje rör avger lika mycket värme till inomhusluften, så gäller följande approximation

$$\eta_g \approx \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i}{n} \quad (8.8)$$

Om den totala värmeeffekten som avges i hela värmeslingan är Q_s så är värmeflödestätheten lika med

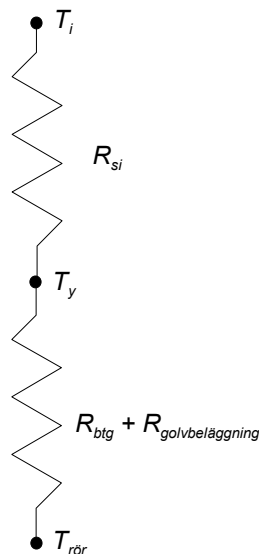
$$q = \frac{Q_s \cdot \eta_g}{A_{tot}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \eta_i}{L \cdot C \cdot n} \quad (\text{W/m}^2) \quad (8.9)$$

Det framgår av ekvationen att värmeflödestätheten bland annat beror på

- C-avståndet. Ökar C-avståndet minskar värmeflödestätheten. Givetvis så ökar värmeflödestätheten om C-avståndet minskar.
- Antalet rör och isolerverkningsgraden.

Hur ovanstående faktorer beräknas kommer att redovisas i efterföljande avsnitt.

Ytemperaturen på golvytan kan beräknas på följande sätt. Antag att värmeslingan har temperaturen $T_{rör}$, inomhustemperaturen T_i och att golvytan har temperaturen T_y . Resistanskretsen för ett golvvärmesystem redovisas i nedanstående figur.



Figur 8.2. Resistanskrets som avser avståndet mellan värmeslingans rör upptill inomhusluften. Betongen har värmemotståndet R_{btg} , golvbeläggningen $R_{golvbeläggning}$, och värmeövergångsmotståndet är R_{si} .

Värmetransporten från värmeslingan till inomhusluften är lika med

$$q = \frac{T_{rör} - T_i}{R_{btg} + R_{golvbeläggning} + R_{si}} \quad (\text{W/m}^2) \quad (8.10)$$

$$q = \frac{T_y - T_i}{R_{si}} \quad (\text{W/m}^2) \quad (8.10)$$

Löses ytemperaturen ut erhålles

$$T_y = T_i + \frac{R_{si}}{R_{btg} + R_{golvbeläggning} + R_{si}} (T_{rör} - T_i) \quad (^\circ\text{C}) \quad (8.11)$$

Av uttrycket framgår det att golvet ytemperatur ökar när värmeövergångsmotståndet stiger. Emellertid medför detta att framledningstemperaturen måste ökas på grund av att värmeledningstätheten minskar.

Beräkning av framledningstemperatur, stationärt förhållande

I modellerna används erforderlig värmeeffekt. Värmeeffekten som anges avser således en byggnad utan golvvärme, det vill säga en byggnad med radiator.

Framledningstemperaturen beräknas med hänsyn till extra värmeförluster som golvvärmens medför genom den globala isolerverkningsgraden. Fördelen med denna modell att den inte skiljer på betong eller träkonstruktioner.

För hel byggnad

I värmeslingan avges värmeeffekten

$$Q_{rör} = (T_f - T_r) \cdot q_v \cdot c \quad (\text{W}) \quad (8.12)$$

Där

T_f = Vattnets framledningstemperatur ($^\circ\text{C}$)

T_r = Vattnets returtemperatur ($^\circ\text{C}$)

q_v = Vattenflöde (l/s)

c = Vattnets specifika värmekapacitet (J/(kg K))

Från värmeslingan avges värmeeffekt, Q_{avg} , till inomhusluften

$$Q_{avg} = (\bar{T}_s - T_i) \cdot K_{in} = \left(\frac{T_f + T_r}{2} - T_i \right) \cdot K_{in} \quad (\text{W}) \quad (8.13)$$

Där

$\bar{T}_s$ = Är vattnets medeltemperatur i värmeslingan ($^\circ\text{C}$)

T_i = Inomhustemperatur ($^\circ\text{C}$)

K_{in} = Konduktansen mellan värmeslingan och inomhusluften (W/K)

Avgiven värmeeffekten från värmeslingan skall balansera värmeförlusten från byggnaden

$$Q_{avg} = K_{tot} \cdot (T_i - T_u) - Q_{tillskott} \quad (\text{W}) \quad (8.14)$$

Där

K_{tot} = Byggnadens totala konduktans (W/K)

T_u = Utomhustemperatur (°C)

$Q_{tillskott}$ = Värmetillskott till inomhusluften (W)

Från slingan avges värmeeffekten till inomhusluften

$$Q_{avg} = (\bar{T}_s - T_i) \cdot K_{in} = \left(\frac{T_f + T_r}{2} - T_i \right) \cdot K_{in} \quad (\text{W}) \quad (8.15)$$

Där

$\bar{T}_s$ = Är vattnets medeltemperatur i värmeslingan (°C)

T_i = Inomhustemperatur (°C)

K_{in} = Konduktansen mellan värmeslingan och inomhusluften (W/K)

Avgiven värmeeffekten från värmeslingan skall balansera värmeförlusten från byggnaden

$$Q_{avg} = K_{tot} \cdot (T_i - T_u) - Q_{tillskott} \quad (\text{W}) \quad (8.16)$$

Där

K_{tot} = Byggnadens totala konduktans (W/K)

T_u = Utomhustemperatur (°C)

$Q_{tillskott}$ = Värmetillskott till inomhusluften (W)

Från slingan avges värmeeffekten till inomhusluften

$$Q_{avg} = \eta \cdot Q_{rör} = \eta \cdot (T_f - T_r) \cdot q_v \cdot c \quad (\text{W}) \quad (8.17)$$

Där

η = global isolerverkningsgrad

Med ekvation (8.13) och (8.15) erhålles vattnets returtemperatur

$$T_r = \frac{T_f \cdot (\beta - 1)}{1 + \beta} + \frac{2 \cdot T_i}{1 + \beta} \quad (^\circ\text{C}) \quad (8.18)$$

Där

$$\beta = \frac{2 \cdot \eta \cdot q_v \cdot c}{K_{in}}$$

Obs, vattenflödet, q_v , anges i l/s och c är vattnets specifika värmekapacitet.

Med ekvation (8.16) och (8.13) erhålles avgiven värmeeffekt från slingan till inomhusluften

$$Q_{avg} = \frac{K_{in} \cdot \beta}{\beta + 1} \cdot (T_f - T_i) \quad (\text{W}) \quad (8.19)$$

Värmefflödestätheten per kvadratmeter golvyta, A_g , blir

$$q_{avg} = \frac{Q_{avg}}{A_g} = \frac{\beta}{R_{in} \cdot (\beta + 1)} \cdot (T_f - T_i) \quad (\text{W/m}^2) \quad (8.20)$$

Framledningstemperaturen, T_f , blir

$$T_f = \frac{\frac{K_{tot}}{K_{in}} \cdot (T_i - T_u) + T_i \cdot \left(\frac{\beta}{\beta + 1} \right) - \frac{Q_{tillskott}}{K_{in}}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(\beta - 1)}{(\beta + 1)}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (8.21)$$

Golvytans temperatur beräknas på följande sätt

$$T_y = T_i + \frac{R_{si}}{R_{in}} \left(\frac{T_f + T_r}{2} - T_i \right) \quad (^\circ\text{C}) \quad (8.22)$$

Värmeeffektbehov känt

Om värmeeffektbehovet, q , per kvadratmeter är känt kan följande ekvation användas för att beräkna framledningstemperaturen

$$T_f = \frac{q \cdot R_{in} \cdot (1 + \beta)}{\beta} + T_i \quad (^\circ\text{C}) \quad (8.23)$$

Returtemperaturen beräknas enligt tidigare angiven ekvation.

Det går också att använda dimensionerande värmeeffekt, Q_{dim} , för byggnaden.

Värmefflödestätheten erhålles då på följande sätt

$$q = \frac{Q_{dim}}{A_g} \quad (\text{W/m}^2) \quad (8.24)$$

Dimensionerande värmeeffekt kan erhållas med värmeberäkningsprogram för en byggnad.

Temperaturdifferens och vattenflöde varierar

Om skillnaden mellan vattnets framlednings- och returtemperatur antas vara konstant varierar vattenflödet i slingan för att erhålla erforderlig värmeeffekt. Vattenflödet kan beräknas på följande sätt

$$q_v = \frac{K_{tot} \cdot (T_i - T_u) - Q_{tillskott}}{\eta \cdot c \cdot (T_f - T_r)} = \frac{Q_{avg} - Q_{tillskott}}{\eta \cdot c \cdot (T_f - T_r)} = \frac{q \cdot A_g - Q_{tillskott}}{\eta \cdot c \cdot (T_f - T_r)} \quad (\text{l/s}) \quad (8.25)$$

Framledningstemperatur blir med ekvation (8.16) och med vald temperaturdifferens ($\Delta T = T_f - T_r$)

$$T_f = T_i + \frac{\Delta T \cdot (1 + \beta)}{2} \quad (^\circ\text{C}) \quad (8.26)$$

Exempel, beräkna framledningstemperatur, värmefflödestäthet och returtemperatur för ett rum.

Rummet har följande data

$U_{vägg} = 0.192 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $A_{vägg} = 36 \text{ m}^2$, $U_{grund} = 0.223 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $A_{grund} = 25 \text{ m}^2$, $U_{fönster} = 1.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $A_{fönster} = 4 \text{ m}^2$, $U_{tak} = 0.130 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $A_{tak} = 25 \text{ m}^2$, $U_{dörr} = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $A_{dörr} = 1 \text{ m}^2$, luftomsättning = 0.5 1/h, $R_{in} = 0.33 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Luftens volymetriska värmekapacitet, $C_l = 1250 \text{ Ws}/\text{m}^3\text{K}$, $T_i = +22 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_u = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, vattenflöde i slingan, $q_v = 0.0275 \text{ l/s}$, Vattnets specifika värmekapacitet, $c_v = 4290 \text{ Ws}/\text{kgK}$, Värmetillskott = 300 W.

Rummets totala konduktans beräknas på följande sätt

$$K_{tot} = \frac{n}{3600} \cdot V \cdot C_l + \sum U \cdot A \quad (\text{W/K})$$

Med insatta värden blir konduktansen 32.8 W/K.

Konduktansen mellan värmeslingan och inomhusluften, K_{in} , blir

$$K_{in} = \frac{A_{grund}}{R_{in}} = \frac{25}{0.33} = 75.8 \text{ (W/K)}$$

Isolerverkningsgraden blir

$$\eta = 1 - U_{grund} \cdot R_{in} = 1 - 0.223 \cdot 0.33 = 0.926$$

Faktorn β beräknas

$$\beta = \frac{2 \cdot \eta \cdot q_v \cdot c_v}{K_{in}} = \frac{2 \cdot 0.926 \cdot 0.0275 \cdot 4290}{75.8} = 2.9$$

Framledningstemperaturen blir då

$$T_f = \frac{\frac{K_{tot}}{K_{in}} \cdot (T_i - T_u) + T_i \cdot \left(\frac{\beta}{\beta + 1} \right) - \frac{Q_{tillskott}}{K_{in}}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(\beta - 1)}{(\beta + 1)}} = \frac{\frac{32.8}{75.8} \cdot (22 - 0) + 22 \cdot \left(\frac{2.9}{2.9 + 1} \right) - \frac{300}{75.8}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(2.9 - 1)}{(2.9 + 1)}} =$$

29.5 °C.

Returtemperaturen beräknas

$$T_r = \frac{T_f \cdot (\beta - 1)}{1 + \beta} + \frac{2 \cdot T_i}{1 + \beta} = \frac{29.5 \cdot (2.9 - 1)}{1 + 2.9} + \frac{2 \cdot 22}{1 + 2.9} = 25.6 \text{ °C}$$

Golvets yttemperatur blir

$$T_y = T_i + \frac{R_{si}}{R_{in}} \left(\frac{T_f + T_r}{2} - T_i \right) = 22 + \frac{0.13}{0.33} \left(\frac{29.5 + 25.6}{2} - 22 \right) = 24.2 \text{ (°C)}$$

Och slutligen beräknas värmeflödestätheten

$$q_{avg} = \frac{\beta}{R_{in} \cdot (\beta + 1)} \cdot (T_f - T_i) = \frac{2.9}{0.33 \cdot (2.9 + 1)} \cdot (29.5 - 22) = 16.8 \text{ W/m}^2.$$