

Bjørn-Roar Krog og Per Gundersen

Vannbåren tak- og golv- varme – Laboratoriemålinger

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Bjørn-Roar Krog og Per Gundersen

Vannbåren tak- og golv- varme – Laboratoriemålinger

Prosjektrapport 397 – 2006

Prosjektrapport 397

Bjørn-Roar Krog og Per Gundersen

Vannbåren tak- og golvvarme – laboratoriemålinger

Emneord: varmeanlegg, vannbåren lavtemperaturvarme, golvvarme, takvarme, ventilasjon, oppvarming

ISSN 0801-6461

ISBN 82-536-0903-5

100 eks. trykt av

S.E. Thoresen as

Innmat: 100 g Kymultra

Omslag: 200 g Cyclus

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2006

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverkslovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med Norges byggforskningsinstitutt er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B

Postboks 123 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.byggforsk.no

Forord

Rapporten presenterer resultater fra et forskningsprosjekt ved NBI knyttet til vannbåren lavtemperatur varmeanlegg i bygninger. Prosjektet finansieres av midler fra Strategisk instituttprogram (SIP) *Miljøriktig energibruk* (2000-2004) og forskningsprosjektet "*Utvikling av varmeanlegg i moderne boliger*".

For grunnlagsteori, beregninger og oppbygging av laboratoriet som resultatene i denne rapporten bygger på, henvises det til rapport *Vannbårne lavtemperatursystemer kombinert med ventilasjon i bygninger* [1].

Av aktive samarbeidspartnere rettes en takk til Probata AS, Wirsbo og Hunton Fiber AS.

Ønsker også og rette en takk til øvrige ved NBI for hjelp til gjennomføring av forsøkene.

Oslo, januar 2006

Bjørn-Roar Krog

Per Gundersen

Sammendrag

Nyere forskning på områder som omfatter komfort, luftkvalitet, menneskets eget energibehov for å opprettholde kroppstemperaturen (exergiforbruk) og boligens energibehov, viser at man bør senke lufttemperaturen og tilsvarende øke midlere strålingstemperatur. I prinsippet favoriserer dette bruk av lavtemperatur strålevarmeanlegg av typen gulv-, vegg- og takvarme.

Varmebehovet i moderne, lette, godt isolerte boliger er beskjedent og vil kunne variere hurtig avhengig av endringer i interne og eksterne varmetilskudd. Dette vil lett kunne føre til overtemperaturer. Det er derfor viktig å sikre at varmeanleggene ikke ytterligere bidrar til å forsterke problemet med overtemperaturer. Dette kan sikres ved at varmeanlegget har lav termisk treghet samtidig som vanntemperaturen bør være så lav som mulig. Det betyr relativt store heteflater ved for eksempel å utnytte deler av gulv-, vegg- eller takarealet og at temperaturtapet fra varmerør til heteflaten er så liten som mulig. I spesielle tilfeller kan det også være ønskelig at heteflatene for varmeanlegget kan tjene som kjøleflater og fjerne overskuddsvarme. Det at varmeanlegget kan utnytte lave vanntemperaturer (≤ 35 °C) til oppvarming, er også viktig for å sikre lavt tilleggsvarmetap for heteflater plassert på klimaskjerm, samt mer optimal utnyttelse av alternative fornybare energikilder til oppvarmingsformål. Eksempler på dette er bruk av varmepumper, solvarme, etc.

Hvis det er mulig, bør man generelt av energiøkonomiske grunner unngå å plassere heteflater på den delen av klimaskjermen som er direkte eksponert mot utetemperaturer. Man kan i stedet utnytte gulv- og takflater i mellombjelkelag og innervegger. Når det gjelder bruk av gulvvarme i gulv på grunnen, kommer dette i en særstilling, idet varmetapet til grunnen er vesentlig lavere enn for andre deler av klimaskjermen eksponert mot uteluften og med samme isolasjonstykkelse. Dette forutsetter imidlertid at man ikke har kuldebro i randsonen, moderat varmebehov og lav varmemotstand for gulvbelegget over varmfordelingssjiktet. Det er normalt vesentlig rimeligere å øke tykkelsen på gulvisolasjonen enn å øke tykkelsen på en yttervegg, som også vil ha arealmessige konsekvenser.

I overgangsperioden vår og høst er det viktig å kunne utnytte passiv solvarme tilført ved direkte solinnstråling som et energitilskudd og samtidig unngå overoppheting. Da solinnstrålingen gjerne treffer gulvflaten, vil bruk av gulvvarme lett kunne føre til overtemperaturer, samtidig som man får dårligere utnyttelse av tilskuddsvarmen [9]. I denne sammenhengen vil bruk av takvarme ha store fordeler.

I motsetning til gulvvarme som avgir varme ved konveksjon og stråling, vil takvarmeanlegget vesentlig avgir varme ved stråling. Skal tak- og gulvvarmeanleggene kunne avgir samme varmemengde, må dette kompenseres ved at himlingen må ha noe høyere overflatetemperatur enn gulvoverflaten. Da luften har liten evne til å absorbere strålevarme, vil all varmeutveksling med romluften foregå som konveksjon uansett varmesystem. Takvarmeanlegget vil derfor varme opp alle tilstøtende flater, også gulvflaten og personer som oppholder seg i rommet. Man kan samtidig bruke himlingsplater under varmfordelingssjiktet med vesentlig lavere varmemotstand enn tradisjonelle trebaserte gulvmaterialer. Takvarmeanlegg kan derfor ha samme eller høyere varmeavgivelse enn et tilsvarende lett utført gulvvarmeanlegg med samme gjennomsnittlige vanntemperatur. En annen fordel med takvarmeanlegget er at det kan utføres med meget liten termisk treghet (tidskonstant) for oppvarming. Det betyr at takvarmeanlegget kan starte varmeavgivelsen til rommet nesten umiddelbart etter at det er satt i drift. På grunn av store temperaturdifferanser og vannets store varmekapasitet, vil varmeavgivelsen under en oppstartsperiode være mange ganger høyere enn under stasjonære forhold med samme vanntemperatur. Dette vil være vesentlig forskjellig sammenlignet med en tilsvarende heteflate med elektriske varmekabler med konstant flateeffekt.

Måleresultatene viser at med et moderat varmebehov vil den vertikale temperaturgradienten i oppholdssonen ikke være vesentlig forskjellig med bruk av gulv- eller takvarme. For begge typer varmeanlegg vil den vertikale gradienten, målt som forskjellen mellom lufttemperaturen i 0,1 og 1,1 m høyde over gulvet, ligge godt under en grad. En vertikal gradient som ytterligere reduseres ved bruk av et effektivt ventilasjonsanlegg. Eventuelt dårlige erfaringer med tidligere utførte takvarmeanlegg skyldes at man har brukt takvarme som eneste varmekilde i bygninger med betydelig varmebehov, og da særlig med utilstrekkelig gulvisolasjon. Dette har ført til at man må bruke meget høye temperaturer på takoverflaten. Hvis varmebehovet i kalde perioder overstiger 60 - 70 W/m² effektiv gulv- eller takflate, vil det kreve temperaturer på takoverflaten over 30 °C. Tradisjonelt har det vært vanlig å sette 30 °C som en maksimal akseptabel overflatetemperatur på takoverflaten. For å unngå for stor strålingsasymmetri i rommet vil vi imidlertid anbefale å bruke samme maksimaltemperaturer på tak- og gulvoverflaten i oppholdsrom på rundt 27 – 28 °C. Med en temperatur på takflaten på 27 - 28 °C og lufttemperatur 21 °C, vil spesifikk varmeavgivelse fra takvarmeanlegget komme opp mot 50 W/m². En effekt som i moderne velisolerte bygninger vil være tilstrekkelig til å dekke et hvert varmebehov.

Med dagens krav til isolasjon og da særlig gulvisolasjon, som for gulv på grunn har økt fra 60 mm til over 200 mm og der man samtidig har eliminert eventuelle kuldebroer i randsonen, vil gulvtemperaturen uten bruk av gulvvarme bare ligge tiendedels grader under lufttemperaturen. Samtidig vil varmebehovet fra varmeanlegget i moderne bygninger kunne komme ned mot 20 W/m² gulv- eller takflateareal. Med et varmebehov på ca. 20 W/m² og en gjennomsnittlig operativ temperatur på 21 °C, vil dette kreve en overtemperatur på takflaten på ca. 3,3 °C eller totalt 24,3 °C. For å oppnå tilsvarende varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegget vil dette kreve en overtemperatur på gulvflaten på ca. 2,4 °C eller totalt 23,4 °C. På grunn av større varmemotstand for 13 mm parkett som gulvbelegg i forhold til 13 mm gipsplater brukt i himlingen, vil en varmeavgivelse på 20 W/m² i begge tilfellene kreve en gjennomsnittlig vanntemperatur på 27 °C.

Måleresultatene som er presentert i rapporten, viser at med bruk av takvarme vil gulvflaten varmes opp slik at overflatetemperaturen på gulvet vil ligge noe høyere enn lufttemperaturen. I forsøksrommet inngår gulvet som en del av klimaskjermen med samme utetemperatur og isolasjonstykkelse (200 mm) som for ytterveggene. For gulv på grunn der varmetapet er vesentlig mindre enn for ytterveggene direkte eksponert mot utetemperaturen, vil temperaturen på gulvoverflaten bli tilsvarende høyere. Med takvarme som eneste varmekilde ligger man derfor godt innenfor de komfortgrenser (21 – 26 °C) man normalt opererer med for temperaturer på gulvflaten. Med en operativ temperatur i rommet på 22 °C, vil man med bruk av takvarme ligge meget nær en ideell temperatur på gulvoverflaten, som ligger rundt 23 °C for personer med lett innendørs fottøy.

Målinger viser at takvarmeanlegget effektivt kan utnyttes til å forvarme tilluften og dermed unngå kald trekk. Med bruk av en sentralt plassert tallerkenventil i taket vil man også øke takvarmeanleggets konvektive varmeoverføring og dermed effektivitet. Man oppnår samtidig med økt varmeavgivelse å få en mer utjevnet vertikal temperaturgradient.

Takvarmeanlegget kan også brukes til kjøling, som kan være aktuelt i kontorer, institusjonsbygg og moderne lavenergiboliger. En annen fordel med takvarmeanlegg er at det kan monteres i mellombjelkelag, gjerne kombinert med lydhimling, slik at all varme som avgis fra anlegget, kommer rommet til gode uten tilleggsvarmetap.

Rent produksjonsteknisk kan det også være en fordel med takvarme- i forhold til gulvvarmeanlegg. Takvarmeanlegget kan monteres på et senere tidspunkt og vil ikke påvirke byggeprosessen på samme måte som gulvvarmeanlegg. Bruk av takvarme gjør det også mulig å øke graden av prefabrikering. Disse forhold vil kunne påvirke kostnadene ved å bygge opp takvarmeanlegget, som bør kunne gjøres rimeligere enn tilsvarende lette, tørre gulvvarmeløsninger der det stilles store krav til gulvets stivhet. Det bør også være lettere å utføre reparasjonsarbeider på takvarmeanlegget i forhold til et gulvvarmeanlegg. Ved oppbygging av både gulv- og takvarmeanlegg vil det kunne inngå flere kostnadsbærere i systemoppbyggingen. Varmeanleggene kan for eksempel inngå som integrerte elementer av bygningskonstruksjonen for å sikre nødvendig trinnlyd- og luftlydsdemping. Dette er særlig viktig i en rehabiliteringssammenheng der materialkostnadene ved å etablere heteflater i det vesentlige begrenses til rør og varmfordelingsplater.

Rapporten viser at takvarmeanlegg rent termisk har et betydelig potensial både når det gjelder å kunne utnytte lave vanntemperaturer til oppvarmingsformål og samtidig sikre god temperaturregulering. Da det stilles færre funksjonskrav til utførelsen av en himling enn for en gulvkonstruksjon, vil man kunne bruke himlingsplater med meget beskjedne varmemotstand, for eksempel 7 mm gipsplater over varmfordelingssjiktet. Man vil også kunne akseptere større temperaturforskjeller over takflaten enn gulvoverflaten. Dette kan være aktuelt i tilfeller med lavt varmebehov og vil kunne ha en kostnadsreducerende effekt.

Høy termisk diffusivitet (temperaturledningsevne) for materialene over eller under varmfordelingssjiktet er også fordelaktig med hensyn til en effektiv dynamisk temperaturkontroll. Målingene viser at dødtiden for den aktuelle takkonstruksjonen med 13 mm gipsplater under varmfordelingssjiktet fra anlegget settes i drift til det starter å avgi varme til rommet er helt nede i et par minutter. Dette er sammenlignbart med elektriske panelovner. Takvarmeanleggets tidskonstant for oppvarming vil da kunne bli lavere (≤ 15 min) enn tilsvarende lette vannbårne strålevarmeanlegg av typen gulv- og veggvarme. Takvarmeanlegget, som vesentlig avgir all varme ved stråling, vil derfor kunne være mer effektivt i en oppvarmingsperiode.

Det gjenstår stadig en del utviklingsarbeid når det gjelder prefabrikering av ulike typer heteflater for takvarmeanlegg som også er effektive til kjøling. Dette omfatter materialvalg, hvordan heteflatene på en enkel måte kan integreres i lydhimlinger, etc. Da takvarmeanleggets effektivitet også påvirkes av rommets ventilasjonsforhold, bør det utvikles integrerte løsninger med takvarme/kjøling og ventilasjon og angis eksempler på hvordan dette kan utføres på en enkel måte. Det er også nødvendig å kartlegge ulike typer takvarmeanleggs varme- og kjølepotensial og funksjon under stasjonære og dynamiske forhold og takvarmeanleggets evne til å motvirke kaldras fra kalde flater.

Summery

Ceiling heating is an attractive solution for low-temperature heating systems, for both new and existing buildings. The system is developed primarily for heating purposes, but may also be used for cooling. The following potential advantages over under-floor heating have been identified:

- The radiated heat component is similar in magnitude to that of under-floor heating, whereas the natural convection component will be much lower for ceiling heating. However, the total heat flux can be increased by means of forced convection. Consequently, with effective ventilation, the ceiling heating can have the same, or even higher, heat flux than under-floor heating systems. In buildings with balanced ventilation, the ventilation supply air can be utilized to create such forced convection, by locating a radial supply diffuser centrally in the ceiling. Alternatively, a ceiling fan may be used to blow air along the heated ceiling and increase the convection. Such a fan will only be needed for short periods, for instance during quick heating up periods, or when the outdoor temperature is very low.
- Since most of the heat is emitted as radiation, it increases the temperature of all the other surfaces in the room including the floor surface, giving better and more uniform thermal comfort for room occupants. For small and moderate heat demands the vertical temperature gradient for floor and ceiling heating 0,1 - 1,1 m above floor level is approximately identical and less than one degree. With higher heat demand we can achieve the same favourable vertical temperature gradient by creating a forced convection as described over.
- Moreover, we can tolerate greater temperature variations over the ceiling area than we can for heated floors. Thus, pipe spacing can be greater than for under-floor systems, without significant loss of thermal efficiency. Furthermore, wider pipe spacing simplifies the system installation relative to an under-floor system.
- The whole surface of the ceiling will normally be active as a heating or cooling surface. Conversely, parts of the floor are normally covered with carpets and furniture, reducing the total heat that can be emitted by an under-floor heating system. The exposed surface that is actively emitting heat is thus normally larger for ceiling heating systems.
- The load-bearing and functional requirements of materials used in the ceiling are not as strict as those for the under-floor system. Thus, since thinner materials may be used in the ceiling system, the thermal resistance between the pipes and the ceiling surface will be lower than for under-floor heating systems. Ceiling heating can, for instance, be easily integrated into a lightweight airborne-sound insulated, suspended intermediate floor. Ceiling heating systems are also easier to install than under-floor heating systems.
- If one is installing (retrofitting) a suspended ceiling to improve the airborne-sound attenuation towards the storey above, the extra investment costs of installing the ceiling heating system will be moderate.
- Ceiling systems have lower additional heat losses, especially reducing thermal bridging at the ground floor perimeter.
- Unlike conventional water-based under-floor heating, this system has low thermal mass, enabling it to respond quickly to temperature changes, and thus should ideally be more efficient.
- The surface temperature of the heated ceiling will be around 25~26°C with an average water temperature in the pipes of 30~35°C. The corresponding heat emission to the room will be close to 40 W/m², which in modern well-insulated buildings will be enough to cover the total heating demand. In existing buildings, which typically have a higher heating demand, a supplementary heating source will be needed. This can, for example, be electric convectors, a wood stove, or low-temperature wall or under-floor heating. In existing buildings, for thermal comfort reasons, it may also be necessary to install a heating source under windows to prevent cold draught.
- Ceiling heating systems are better protected against mechanical damage.

Innholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	4
Summery	7
Innholdsfortegnelse	8
1. – Introduksjon	9
1.1 – Bakgrunn	9
1.2 – Formål	9
1.3 – Tidligere arbeider	10
1.4 – Rapportens oppbygging.....	10
2 – Vannbårne lavtemperatursystemer	11
3. Forsøk	13
3.1 – Forutsetninger	13
3.2 – Gulv- og takvarmeanlegget	14
3.4 – Forsøkoppsett	19
4. Måleresultater	20
4.1 – Oversikt måleresultater	20
4.2 – Måling av vertikal temperaturgradient	21
4.3 – Effektagivelse under stasjonære forhold	24
4.4 – Effektagivelse, dynamiske forhold.....	28
4.5 – Sammenligning med NS-EN 1264.....	31
4.6 – Termografering	32
5. Kjøling	33
6. Konklusjon	35
Referanseliste	37

1. – Introduksjon

1.1 – Bakgrunn

Energiforbruket i bygninger er sammensatt. Lys, elektriske installasjoner og utstyr krever høykvalitetsenergi i form av elektrisitet, mens energi til oppvarmingsformål kan nøye seg med energi av lavere kvalitet. Samtidig går utviklingen i retning av en betydelig økt isolasjonsstandard i våre bygninger som igjen vil redusere behovet for energi til oppvarmingsformål. Det betyr også at tilskuddsenergi fra installasjoner får større betydning også til oppvarmingsformål. Fremtidens vannbårne varmeanlegg bør derfor være lett regulerbare, energieffektive og gi god komfort med lavest mulig lufttemperatur. Skal de vannbårne varmeanleggene i tillegg sikre energifleksibilitet og fremme bruk av fornybare energikilder, må varmeanleggene kunne utnytte lave vanntemperaturer (25-35 °C). Dette er ikke tilfellet for hovedtyngden av de vannbårne anleggene som bygges i Norge i dag.

Installering av vannbårne gulvvarmeanlegg både i nye og eksisterende boliger har vist seg å være relativt kostbart for forbrukeren. Det skyldes ikke minst at gulvet skal tilfredsstille en rekke funksjoner som omfatter statiske, termiske, lydmessig og estetisk forhold. Rent produksjonsteknisk kan installasjon av gulvvarme også føre til betydelig ekstraarbeid og dermed tilleggskostnader. Med dagens krav til gulvisolasjon vil temperaturen på gulvoverflaten uten bruk av gulvvarme bare ligge tiendedels grader under lufttemperaturen. Dette forutsetter en tilfredsstillende isolasjon i randsonen som har størst varmetap for å forhindre lave temperaturer [2]. Det betyr at komfortkravene til gulvets overflatetemperatur i vanlige oppholdsrom i det vesentlige vil være oppfylt. Dette vil imidlertid være noe bruksavhengig og av type gulvbelegg. Det er derfor viktig å utvikle nye lavtemperatur strålevarmesystemer som også kan benytte vegger og tak som oppvarmingsflater og som samtidig kan heve temperaturen på gulvoverflaten. Dette vil trolig redusere installeringskostnadene på grunn av mulighet for høyere grad av prefabrikking. Vannbaserte lavtemperatur tak- og veggvarmesystemer er til nå ikke utviklet i samme grad som gulvvarme og det er derfor begrenset med kommersielle produkter på markedet. Samtidig råder det en viss skepsis til bruk av takvarme. Dette skyldes feil bruk av takvarme i rom med relativt store varmebehov der man opererer med for høye taktemperaturer. Takvarme kan ikke kompensere for en utilstrekkelig isolert gulvkonstruksjon. Tilsvarende problemer vil også kunne oppstå ved feil bruk av gulvvarme der man i tillegg vil kunne få et betydelig økt energiforbruk. Med dagens isolasjonsstandard vil man ikke ha disse problemene der både gulv- vegg- og takvarme komfortmessig er sammenlignbare. For generelt å unngå tilleggsvarmetap vil det være gunstig å unngå å plassere heteflatene på klimaskjermen. Innledende studier ved NBI har vist at man ved å kombinere vannbåren takvarme og ventilasjon kan oppnå flere fordeler. Ved å bruke tak- eller veggplasserte tilluftsventiler vil man kunne få en effektiv ettervarming av ventilasjonsluften og samtidig forbedre varmeavgivelsen fra takflaten [1].

1.2 – Formål

Formålet med denne rapporten er å øke kunnskapsnivået for bruk av lavtemperatur varmeanlegg og da spesielt ved bruk av gulv- og takvarme. Spesielt ved bruk av takvarme henger det stadig igjen en oppfatning om at dette fører til varmt hode og kalde føtter. Et økt kunnskapsnivå er derfor viktig for å kunne sikre riktig bruk og dimensjonering av anleggene for å sikre et godt inneklima. Grunnlagsdata i rapporten er vesentlig basert på laboratoriemålinger. Vannbåren gulv- og takvarme er sammenlignet med fokus på effektavgivelse og komfort, samt eksempler på ventilasjonens innvirkning på disse parameterne. Rapporten er begrenset til å behandle lett, tørr utførelse av vannbårne lavtemperatur gulv- og takvarmeanlegg. Det betyr i prinsippet at det brukes et varmefordelingssjikt av profilerte aluminiumsplater.

1.3 – Tidligere arbeider

Denne rapporten bygger på tidligere arbeider (2000), (2002) og (2003) ved NBI med vannbåren lavtemperaturvarme [2-5], mens laboratorieforskene er en videreføring av diplomoppgaven til Hagen og Krog (2003) [6]. Grunnlagsteori, beregninger, målepunkter, instrumentering, kalibrering, pålitelighet, innledende forsøk og oppbygging av laboratoriet er dokumentert i rapporten *Vannbårne lavtemperatursystemer kombinert med ventilasjon i bygninger* (2004) [1]. Denne rapporten vil derfor ikke gå nærmere inn på disse emnene/områdene, men i stedet henviser til dem.

1.4 – Rapportens oppbygging

Rapporten er bygget opp slik at første hovedkapittel gir eksempel på gulv- og takvarmeoppbygging som er brukt i forsøkene, forutsetninger for forsøkene og dermed grunnlagsdata for de angitte dimensjoneringsdiagram. Kapittel 2 tar for seg teorien rundt vannbåren lavtemperaturvarme. I kapittel 4 omhandles resultatene fra forsøkene i form av dimensjoneringsdiagram for avgitt varme, vertikal varmefordeling og varmeanleggenes tidskonstant. Konklusjonene blir presentert i kapittel 5.

2 – Vannbårne lavtemperatursystemer

Tradisjonelle lavtemperatur varmeanlegg opererer med temperaturer på turvannet i området 25-45 °C der det dimensjoneres med en senkning av vanntemperaturen på 5 °C over heteflaten. Økt fleksibilitet og mer effektiv utnyttelse av alternative fornybare energikilder tilsier at det er fordelaktig å senke turtemperaturen ned til 25-35 °C, som igjen krever at temperaturredifferansen mellom tur og retur helst ikke bør overstige 1-2 °C. En viktig forutsetning for å kunne senke vanntemperaturen er at bygningen har en høy isolasjonsstandard og dermed et lavt varmebehov. God energieffektivitet forutsetter at heteflater plassert på klimaskjermen har tilfredsstillende isolasjon og at varmeanleggene er lett regulerbare.

For å kunne utnytte lavtemperatur energikilder til oppvarmingsformål, er følgende parametere av stor betydning:

- Lavt varmebehov
- Størst mulig effektiv heteflate
- God varmeoverføring fra varmerør til heteflate
- God varmefordeling over heteflaten
- Utforming og type ventilasjonsanlegg

God varmeoverføring fra varmerørene til heteflaten er avgjørende for å kunne utnytte lave vanntemperaturer. Viktige parametere er rørdiameter, røravstand og materialvalget i oppbygningen av heteflaten. For en lett, tørr utførelse som er behandlet i denne rapporten er utforming av varmefordelingsjiktet (aluminiums varmefordelingsplater) i denne sammenhengen særdeles viktig.

Det stilles ikke samme funksjonskrav for takkonstruksjoner som for gulv. Dette påvirker særlig materialvalg av himlingsplater og gulvbelegg. Man står derfor i prinsippet vesentlig friere ved oppbygging av takvarmeanlegget. Det kan derfor benyttes materialer med høyere varmeledningsevne og redusert sjikttykkelse i taket, slik at varmemotstanden mellom rørene og overflaten kan bli lavere enn for tilsvarende tørre gulvvarmesystemer. Rent produksjonsteknisk kan det være en fordel med takvarme- i forhold til gulvvarmeanlegg at det dette kan monteres på et senere tidspunkt i byggeprosessen. Bruk av takvarme vil også kunne øke graden av prefabrikking. Disse forhold vil også kunne påvirke kostnadene ved å bygge opp takvarmeanlegget som bør kunne gjøres rimeligere enn tilsvarende lette, tørre gulvvarmeløsninger. Både ved oppbygging av gulv- og takvarmeanlegg vil det kunne komme inn flere kostnadsbærere i systemoppbyggingen i det varmeanleggene kan inngå som integrerte elementer for å sikre nødvendig trinnlyd- og luftlydsdemping.

For at gulv- tak- eller veggflaten skal tjene som en heteflate i et varmeanlegg må denne ha en overtemperatur i forhold til lufttemperaturen. Heteflater bør derfor fortrinnsvis plasseres på innvendige flater som ikke også skal fungere som klimaskjerm. Ved plassering på klimaskjermen, krever dette ekstra isolering for å redusere tilleggsvarmetapet. Tilleggsvarmetapet vil bestå av økt transmisjonstap, da temperaturredifferansen over bygningsdelen blir større. Også for vanlige panelovner eller radiatorer plassert på klimaskjermen vil man på grunn av et høyere temperaturnivå ha et tilleggsvarmetap. Ved å plassere varmeovner under vinduer for å kompensere for kaldras vil man samtidig øke konveksjonsgraden og dermed varmetapet fra vinduene i betydelig grad. Generelt lavt temperaturnivå på hele varmesystemet er også viktig for å unngå utilsiktet stort varmetap fra varmefordelingsnett i bygningen med samlestocker for varmerør, ventiler, pumper, etc.

Lav turtemperatur og minst mulig temperaturredifferanse mellom vann- og overflatetemperatur på heteflaten er energimessig meget gunstig, fordi man kan benytte lavkvalitets energikilder eller få en vesentlig bedre utnyttelse av fjernvarmenettet. Lavere temperaturredifferanse mellom tur- og returvannet gir også jevnere temperaturfordeling på heteflaten som er en forutsetning for en effektiv varmeavgivelse. Dette igjen vil kunne gjøre at man kan bruke et enkel S-mønster som egner seg godt for prefabrikkering. Lave temperaturer betyr at virkningsgraden for en eventuell varmepumpe forbedres, samt at tilleggsvarmetapet reduseres dersom varmeanlegget er plassert på klimaskjermen.

3. Forsøk

3.1 – Forutsetninger

Forsøkene, som denne rapporten refererer til, er utført etter ombygging av prøverommet på Byggforsk, se tidligere rapport [1]. De viktigste endringene i forbindelse med ombyggingen er:

- Heteflatearealet for gulv- og takvarmeanlegget er likt, dvs. 13 m².
- Varmefordelingsplatene dekker 80 % av heteflatearealet.
- PEX-rørenes utvendige diameter er økt fra 17 til 20 mm. Senteravstanden mellom rørene er uforandret, dvs. 300 mm.

Sammenhengen mellom vanntemperaturer, varmeanleggets varmeavgivelse og prøverommets operative temperatur er gjennomført for ulike klimabelastninger. Utendørstemperaturen simuleres ved hjelp av kjøleflater som ligger på utsiden av klimaskjermen der temperaturene varierer fra +5 til -5 °C. For å kunne oppnå en midlere operativ temperatur i prøverommet på 20 – 22 °C krever dette i målingene vanntemperatur i tak- og gulvvarmeanlegget på 25-35 °C. Overflatetemperaturen er lik på alle kjøleflatene, dvs. både tak, gulv og vegger. Klimaskjermen i prøverommet med vegger, tak og gulv er alle isolert med 200 mm mineralull. God oversikt over gulv- og takvarmeanleggets strålingsutveksling med omhyllingsflatene er dermed mulig.

Målingene er utført med og uten mekanisk balansert ventilasjon med en tilluftsventil plassert i senter av taket. Også avtrekksventilen er plassert i taket. Tilluftstemperaturen bør fortrinnsvis ligge 1-2 °C lavere enn romluftens temperatur. Er luften for kald, kan det oppstå ubehagelig trekk ved at luften faller for raskt ned i oppholdssonen. Selv med en effektiv varmeveksler krever dette normalt en ettervarming av tilluften i kalde perioder. Ut fra en temperatur i romluften på 20-22 °C er tilluftstemperaturen i målingene konstant lik 18 °C. Dette tilsvarer en temperaturredifferanse på tilnærmet 4 °C, noe som er vanlig praksis ved dimensjonering av ventilasjonsanlegg. Den valgte temperaturen vil ikke gi problemer mht. trekk. Dette gjelder uavhengig om det brukes tak- eller gulvvarme. Ved en plassering av tilluftsventilen i taket vil bruk av takvarme effektivt kunne bidra til ettervarming av tilluften. Det er da viktig å bruke en radial spredetallerken ventiltype med mulighet for å regulere spaltehøyden. Man kan derfor i kalde perioder kunne tåle noe lavere tilluftstemperaturer. Man vil samtidig få en mer effektiv konvektiv varmeavgivelse og dermed totalt større varmeavgivelse fra takvarmeanlegget. Et varmeanlegg som normalt vesentlig avgir varme ved stråling. For å kunne opprettholde varmebalansen i prøverommet vil dette igjen kreve noe høyere vanntemperaturer tilført takvarmeanlegget.

For boliger og kontorlokaler med mekanisk ventilasjon er det vanlig med et luftskifte på henholdsvis 1 h⁻¹ og 4 h⁻¹. Varmelaboratoriet har et romvolum på 30 m³ og dimensjonerende luftmengde blir dermed 30 m³/h for boliger og 120 m³/h for kontorer.

Volumstrømmen gjennom rørene er begrenset av hastighet og trykkfall. Trykkfallet og hastigheten bør ikke overstige henholdsvis 200 Pa/m og 0,5 m/s [7]. I forsøkene er volumstrømmen 0,050 kg/s, mens de i forsøkene brukte 20 mm PEX- rørene har en innvendig diameter på 16 mm. Dette gir en vannhastigheten på 0,25 m/s, som er holdt konstant under alle forsøkene.

3.2 – Gulv- og takvarmeanlegget

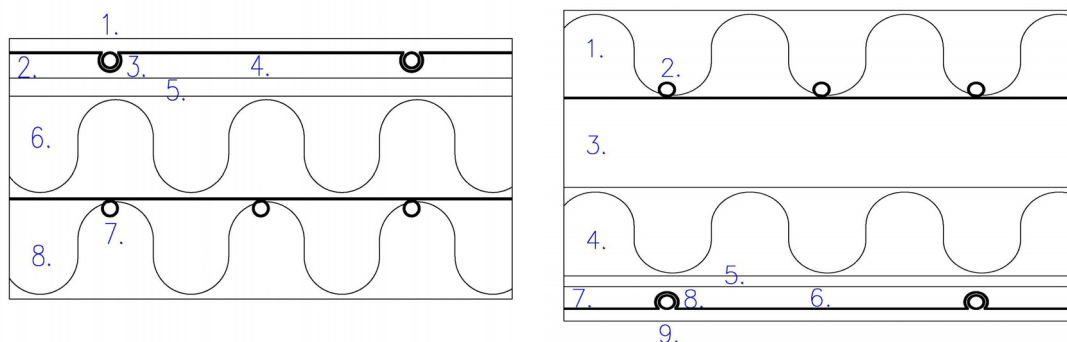
Gulvet og taket i varmelaboratoriet er bygget opp slik det fremgår av tabell 3.1 og 3.2.

Tabell 3.1: Gulvkonstruksjonens oppbygning.

Sjikt nr.	Materiale/komponent	Tykkelse [mm]	λ [W/mK]
1	Parkett	13	0,12 - 0,14
2	Varmefordelingsplate Al	0,5	225
3	PEX-rør	20x2	0,36
4	Hunton Silencio Thermo (porøs trefiberplate)	36	0,05
5	Sponplate	18	0,12
6	Mineralull	200	0,036
7	Kjølerør med fordelingsplate		-
8	Polyuretan	100	0,033

Tabell 3.2: Takkonstruksjonens oppbygning.

Sjikt nr.	Materiale/komponent	Tykkelse [mm]	λ [W/mK]
1	Polyuretan	100	0,033
2	Kjølerør med fordelingsplate		-
3	Hulrom	100	-
4	Mineralull	200	0,036
5	Kryssfinerplate	12	0,15
6	Hunton Silencio Thermo (porøs trefiberplate)	36	0,05
7	Varmefordelingsplate av aluminium	0,5	225
8	PEX-rør	20x2	0,36
9	Gipsplate	13	0,25



Figur 3.1: Konstruksjonens lagvise oppbygging for gulvet (t.v.) og taket (t.h.).

Floor and ceiling construction for the test room with insulation, heating and cooling pipes.

Figur 3.1 viser gulv- og takkonstruksjonens lagvise oppbygging. Numrene i figur 3.1 henviser til sjiktnummer i tabell 3.1 og 3.2. Gulvkonstruksjonen består av lag 1 til 6, mens utendørs temperaturforhold simuleres i sjiktet mellom lag 6 og 8. Takkonstruksjonen består av lag 3 til 9, mens utendørs temperaturforhold simuleres i sjiktet mellom lag 1 og 3. Varmefordelingsplatene består av profilerte aluminiumsplater for to rør med senteravstand 300 mm, se fig. 3.2.



Fig. 3.2. For å forenkle monteringen og øke dekningsgraden av varmfordelingsplater over gulv og takflaten er det brukt en type profil aluminiumsplater for 2 rør med røravstand 300 mm. Varmefordelingsplatene er limt til porøse trefiberplater. For ytterligere å øke dekningsgraden for varmfordelingsplater over heteflaten bør man også kunne utnytte varmeavgivelsen fra rørsøyfene. Det er derfor viklet utvendig Al-folie rundt røret i rørsøyfene med en overliggende 0,5 mm tykk Al-plate.

Aluminium heat distribution sheets glued to 24 mm prefabricated fibreboard.

Den prosentvise deknningen med fordelingsplater av gulv- og takarealet er ca. 80 %. Hunton Silencio Thermo er en porøs trefiberplate bestående av tre 12 mm plater sammenlimt med vannglass, og platens densitet er ca. 250 kg/m^3 . Gulv- og takvarmerørene er av type PEX med diffusjonssperre på utvendig røroverflate, og med utvendige rørdiameter 20 mm. Veggtykkelsen på rørene er 2 mm, dvs. at innvendig diameter er 16 mm. For å oppnå størst mulig varmeoverføring fra varmerørene til heteflaten bør også rørbøyene i prinsippet være i kontakt med et varmfordelingsjikt. Da det ikke var tilgjengelig profilplater i aluminium for rørbøyene ble det viklet vi noe aluminiumsfolie rundt rørene i rørbøyene som hadde ledende kontakt med en horisontal aluminiumsplate.

Det finnes også systemløsninger med bruk av 0,5 mm tykke profilplater i galvanisertstål både for rettsstrekk og rørbøyer. Nå vil varmeledningsevnen for stål bare være 50 W/mK mens aluminium ligger på hele 225 W/mK. Hvis man derfor erstatter de profilerte aluminiumsplatene med tilsvarende stålplater og bruker samme tykkelse og røravstand vil man få en vesentlig dårligere varmefordeling over heteflaten. Dette kan belyses ved å se på et regneeksempel der det er brukt følgende beregningsforutsetninger:

- Røravstand 300 mm
- Platetykkelse 0,5 mm for både stål og aluminium
- Bredder på profilplater 280 mm
- Varmemotstand for materiallag over varmefordelingssjikt 0,11 m²K/W (≈15 mm parkett)
- Gjennomsnittlig vanntemperatur 37 – 38 °C

Figur 3.3 viser temperaturfordelingen over varmefordelingsplatene i aluminium og stål. Dette viser at ved å erstatte aluminiumsplatene med tilsvarende stålplater og opprettholde samme røravstand vil man få en vesentlig dårligere varmefordeling over heteflaten.

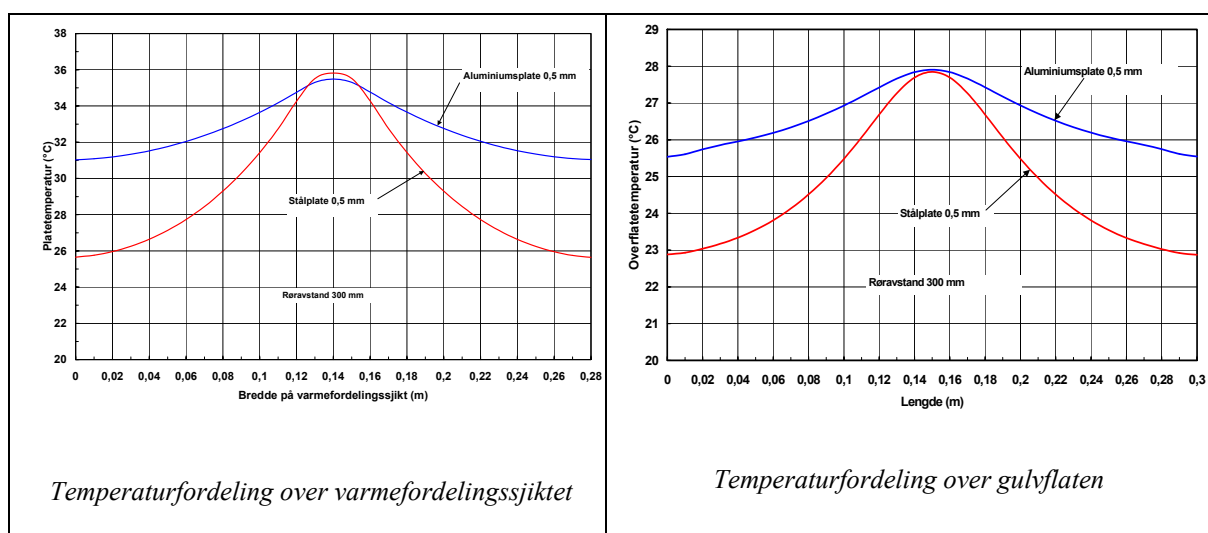


Fig. 3.3. Beregnet temperaturfordelingen over varmefordelingssjiktet og på gulvoverflaten over 0,5 mm tykke og 280 mm brede varmefordelingsplater i aluminium og stål. Røravstand 300 mm, overbygning 15 mm parkett og vanntemperatur 37 – 38 °C.

Differences in temperature distribution over the floor surface and heat distribution sheets, aluminium or steel, thickness 0,5 mm. Same temperature level and pipe spacing 300 m. Top layer parquet, 15 mm.

Beregninger viser at varmeavgivelsen ved å erstatte aluminium med stål under ellers like forutsetninger redusere varmeavgivelsen i det viste eksemplet med hele 35 %. Noe av dette tapet vil kunne kompenseres ved at man også kan utnytte varmeavgivelsen fra rørbøylene. Imidlertid vil man i det viste eksemplet for et gulvvarmeanlegg ha en uakseptabel stor temperaturredifferanse på gulvoverflaten over og mellom varmerørene. Denne temperaturredifferansen vil kunne tillates for et takvarmeanlegg, men vil gå på bekostning av betydelig lavere varmeavgivelse. Bruk av stålplater krever derfor mindre røravstand. Det er derfor varmeteknisk store fordeler ved å bruke aluminiumsplater som varmefordelingsplater.

For mindre rom der det ofte kan være problem å oppnå tilstrekkelig areal på heteflatene, kan det være viktig også å kunne utnytte varmeavgivelsen fra rørslyfene. Dette kan for eksempel oppnås ved å vikle aluminiumfolie rundt røret i rørbøylene og sikre varmeledende kontakt med en aluminiumsplate. Alternativ kan man bruk et plastbelagt aluminiumsrør som også har ledende

kontakt med en aluminiumsplate. Bruk av rørtyper i et materiale med høyere varmeledningsevne, for eksempel plastbelagt aluminiumsrør, er også varmeteknisk gunstig ved bruk av profilplater som bare har ledende kontakt med 50 – 60 % av røroverflaten. Det er generelt viktig å sikre best mulig varmeledende kontakt mellom varmfordelingssjiktet og røroverflaten som ellers vil virke som en flaskehals i varmeoverføringen til heteflaten. Det kan da også være en fordel å øke rørdiameteren. Økt rørdiameter er også gunstig i det man får et lavere temperaturløstap over heteflaten med samme vannhastighet. Man kan dermed utnytte lavere vanntemperaturer og får en jevnere temperaturfordeling over heteflaten. Man kan derfor bruke et enkelt S-mønster for rørnett som egner seg godt for prefabrikkering.

Tykkelsen på aluminiumsplatene i varmfordelingssjiktet vil også være av stor betydning for samlet varmeavgivelse, se fig. 3.4. Hvis platetykkelsen fordobles fra 0,5 mm til 1,0 mm vil total varmeavgivelse fra gulvflaten økes med ca. 10 %. Tilsvarende økning i varmeavgivelsen kan oppnås ved å redusere rørvstanden til ca. 200 mm.

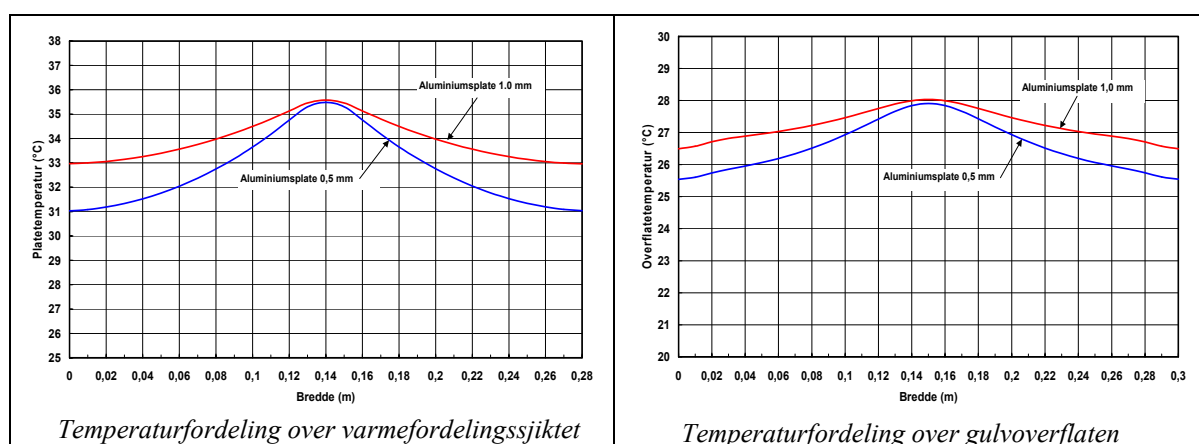


Fig. 3.4. Temperaturfordelingen over 0,5 mm og 1,0 mm tykke og 280 mm brede varmfordelingsplater i aluminium og på gulvoverflaten. Rørvastand 300 mm, overbygning 15 mm parkett og vanntemperatur 37 – 38 °C.

0,5 and 1,0 mm thick aluminium heat distribution sheets. Same temperature level and pipe spacing 300 m. Top layer parquet, 15 mm.

En vesentlig forutsetning for å kunne utnytte lave vanntemperaturer er at varmemotstanden for materialsjiktet fra varmfordelingssjiktet til heteflatens overflate er så liten som mulig. 15 mm tykk parkett vil ha varmemotstanden 0,11 m²K/W mens 13 mm gipsplate bare har varmemotstanden 0,05 m²K/W eller halvparten. Med en varmeavgivelse fra varmeanlegget på 40 W/m² betyr det en forskjell i temperaturløstap fra varmfordelingssjiktet til heteflatens overflate på 2-3 °C. En forskjell som vi senere skal se er tilstrekkelig til å utjevne forskjellen i varmeavgivelse fra gulv- og takvarme med samme vanntemperatur. Ved å bruke 0,7 mm gipsplater som himlingsplater vil tilsvarende temperaturdifferansen ytterligere kunne øke med en grad. Det betyr at takvarmeanlegget med samme vanntemperatur kan avgi mer varme enn gulvvarmeanlegget.

Figur 3.5 a og b viser leggemønster for gulv- og takvarmesløyvene. Retningen på vannstrømningen er også tegnet inn. Heteflatearealet er 13 m², og senteravstanden mellom rørene er 300 mm.

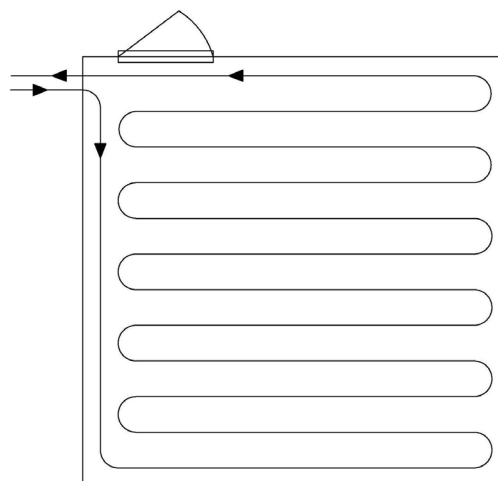
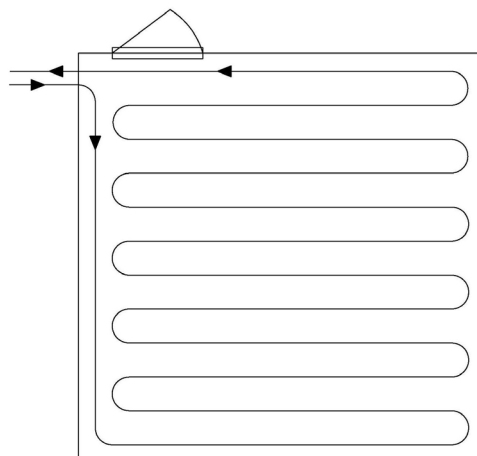


Fig. 3.5 a: Lett utførelse av gulvvarmeanlegg. Det er brukt enkelt S-leggemønster for gulvvarmesløyvene og 13 mm parkett over 0,5 mm tykke aluminiums varmefordelingsplater.

Lightweight floor heating system in the test room. 13 mm parquet above 0,5 mm Al-sheets.



Figur 3.5 b: Takvarme med sentralt plassert tallerkenventil for tilluft. Det er brukt enkelt S-leggemønster for gulv- og takvarmesløyvene og 13 mm gipsplater under 0,5 mm tykke aluminiums varmefordelingsplater.

Radiant ceiling heating/cooling system in the test room. 13 mm plasterboard underneath 0,5 mm Al-sheets. A radiant air diffuser for ventilation is located in the middle of the ceiling. It improves the convective heat flux from the ceiling and even out the vertical air temperature gradient.

3.4 – Forsøkkoppsett

Det er utført 26 forsøk med ulike kombinasjoner av utetemperatur, tilført effekt, ventilasjonsluftmengde og type heteflate. Tabell 3.3 gir en oversikt over innstilte verdier fra forsøkene utført i varmelaboratoriet. Tabellen viser blant annet utetemperatur, vannmengde og vanntemperatur i varmesløyfene, ventilasjonsluftmengde og type heteflate.

Tabell 3.3: Parametere for laboratorieforsøkene. (Combination of lab tests)

Forsøk nummer	Heteflate	Utetemp. [°C]	Turtemp. [°C]	Vannmengde [kg/s]	Luftmengde [m³/h]	Luftskifte [h ⁻¹]	Tilluftstemp. [°C]
1	Gulv	-5	30	0,050	-	-	-
2	Gulv	-5	35	0,050	-	-	-
3	Gulv	0	25	0,050	-	-	-
4	Gulv	0	30	0,050	-	-	-
5	Gulv	+5	25	0,050	-	-	-
6	Gulv	+5	30	0,050	-	-	-
7	Tak	-5	30	0,050	-	-	-
8	Tak	-5	35	0,050	-	-	-
9	Tak	0	25	0,050	-	-	-
10	Tak	0	30	0,050	-	-	-
11	Tak	+5	25	0,050	-	-	-
12	Tak	+5	30	0,050	-	-	-
13	Gulv	-5	30	0,050	120	4	18
14	Gulv	-5	33	0,050	120	4	18
15	Gulv	-5	35	0,050	120	4	18
16	Gulv	+5	25	0,050	30	1	18
17	Gulv	+5	30	0,050	30	1	18
18	Tak	-5	30	0,050	120	4	18
19	Tak	-5	35	0,050	120	4	18
20	Tak	-5	35	0,050	60	2	18
21	Tak	-5	30	0,050	30	1	18
22	Tak	-5	35	0,050	30	1	18
23	Tak	+5	25	0,050	120	4	18
24	Tak	+5	30	0,050	120	4	18
25	Tak	+5	25	0,050	30	1	18
26	Tak	+5	30	0,050	30	1	18

4. Måleresultater

4.1 – Oversikt måleresultater

Tabell 4.1 viser tilført effekt fra varmeanlegget, midlere operativ temperatur i rommet og gjennomsnittlig overflatetemperatur på gulv og tak for hvert enkelt forsøk som er utført under stasjonære forhold.

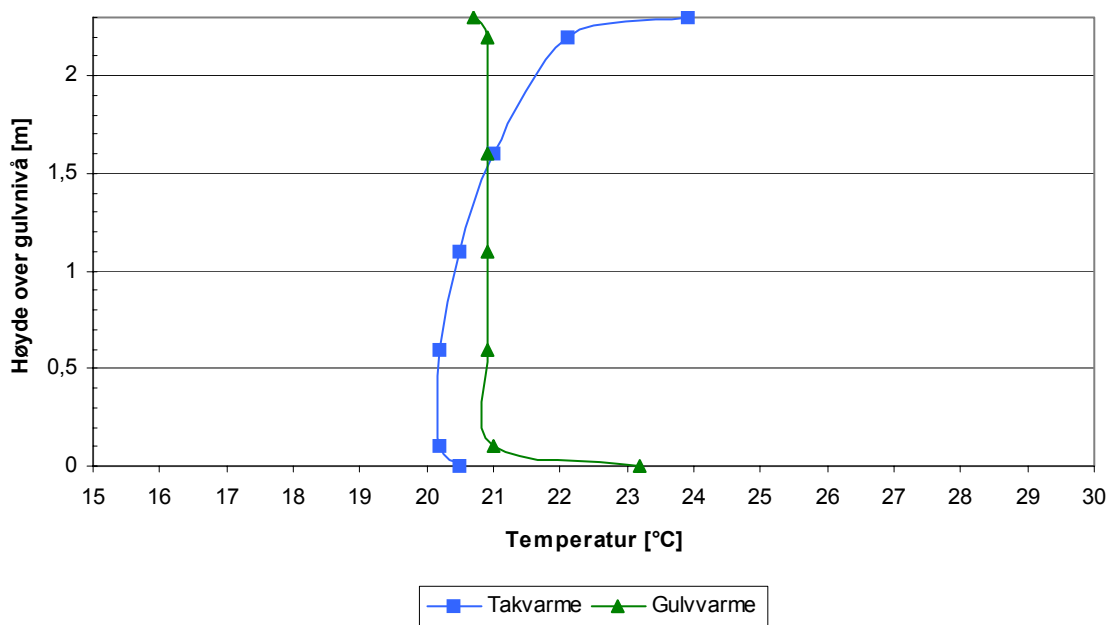
Tabell 4.1: Oversikt over tilført effekt og temperaturer for hvert enkelt forsøk. (Test results)

Forsøk nummer	Tilført effekt [W/m ²]	Operativ temperatur [°C]	Overflatetemp. gulv [°C]	Overflatetemp. tak [°C]
1	24,1	20,9	23,2	20,7
2	29,4	24,2	26,9	24,0
3	17,0	18,5	20,2	18,3
4	21,6	21,9	24,0	21,7
5	13,0	20,0	21,3	19,8
6	18,2	23,1	24,9	23,0
7	24,5	20,6	20,5	23,9
8	29,8	23,8	23,6	27,6
9	17,0	18,4	18,3	20,8
10	21,7	21,6	21,5	24,5
11	13,5	19,8	19,7	21,7
12	18,2	23,0	22,8	25,5
13	26,5	19,9	22,4	19,7
14	31,6	20,9	23,9	20,6
15	34,7	21,7	25,0	21,4
16	13,5	19,8	21,2	19,7
17	20,0	22,1	24,1	22,0
18	29,3	20,1	19,7	22,3
19	38,5	22,3	22,0	25,0
20	34,7	22,9	22,6	26,1
21	26,1	20,3	20,0	23,6
22	32,9	23,0	22,7	27,0
23	16,1	19,6	19,4	20,8
24	25,5	21,4	21,4	23,2
25	13,9	19,9	19,8	21,6
26	20,6	22,3	22,3	24,9

4.2 – Måling av vertikal temperaturgradient

Figur 4.1 viser vertikal gradient for lufttemperaturen i varmelaboratoriet for tak- og gulvvarmeanlegget uten ventilasjon, forsøk nummer 1 og 7 iht. tabell 3.3. Ved utetemperatur $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og gjennomsnittlig vanntemperatur $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, blir den spesifikke varmeavgivelsen fra gulv- og takvarmeanlegget henholdsvis $24,1\text{ W/m}^2$ og $24,5\text{ W/m}^2$. Til tross for at takvarmeanlegget i det vesentlige avgir varme ved stråling vil lavere varmemotstand for himlingsplatene (13 mm gipsplater) i forhold til gulvbelegget (13 mm parkett) kompensere for lavere varmeovergangskoeffisient. Det fremgår av tabellen at med samme vanntemperatur er takets midlere overflatetemperatur høyere enn tilsvarende for gulvet. Med samme vanntemperatur vil spesifikk varmeavgivelse fra tak- og gulvvarmeanlegget i dette tilfellet være tilnærmet lik.

De øverste og nederste punktet i figuren viser gjennomsnittlig overflatetemperatur på gulvet og taket. Takhøyden er 2,3 m. I tillegg til lufttemperaturen er operativ temperatur målt i høyden 0,6 m, 1,1 m og 1,6 m. Som det fremgår av fig. 4.1 vil takvarmeanlegget også varme opp gulvflaten. Operativ temperatur i en høyde over gulvflaten på 0,6 m vil med bruk av takvarme ligge $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ over lufttemperaturen i samme høyde. Tilsvarende vil operativ temperatur i 1,6 m høyde med takvarme også ligge $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ høyere enn lufttemperaturen. Dette bekrefter at en varm takflate med moderate overtemperaturer ikke fører til spesielle problemer med overtemperaturer i høyden på grunn av varmestrålingen. Også ved bruk av gulvvarme vil største forskjellen mellom luft og operativ temperatur være $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Operativ temperatur med gulvvarme vil ligge $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ høyere i 0,6 m høyde over gulvet og tilsvarende $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ lavere i 1,6 m høyde. Det må igjen presiseres at temperaturene angitt i fig 4.1 er målt under stasjonære forhold der varmeavgivelsen fra heteflatene foregår ved stråling og naturlig konveksjon. Målingene er utført uten lufttilførsel eller avtrekk, altså noe ulikt forholdene man normalt finner i en bolig. I målingene vil gulvet også inngå som en del av klimaskjermen. For gulv på grunnen vil varmetapet fra gulvkonstruksjonen være betydelig lavere. Dette vil også resultere i en høyere gulvtemperatur ved bruk av takvarme.

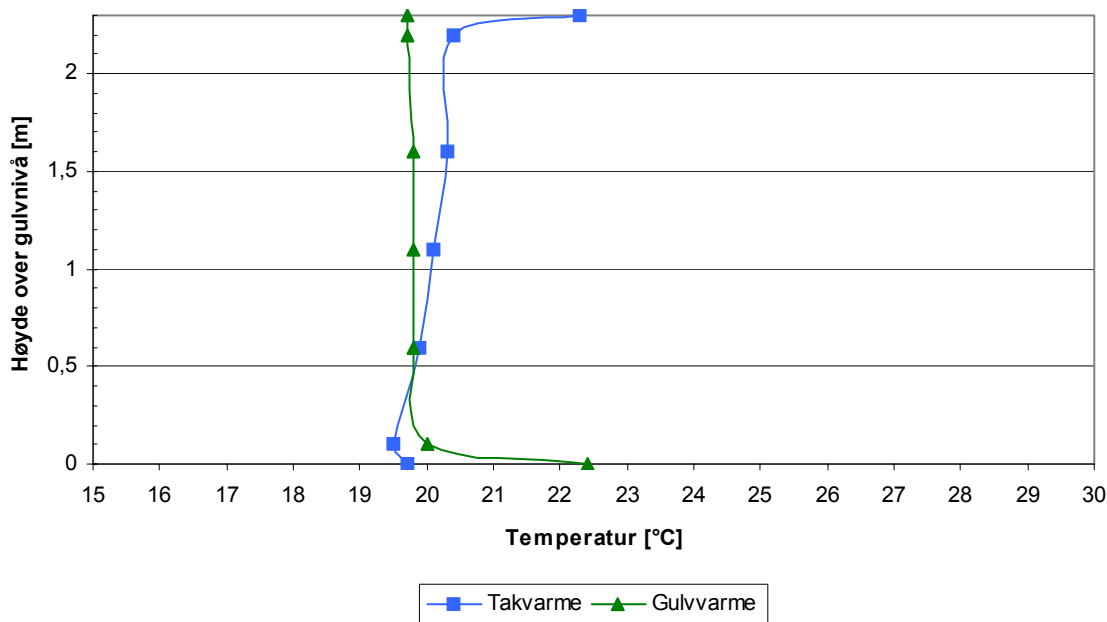


Figur 4.1: Vertikal temperaturgradient for tak- og gulvvarme uten ventilasjon.

Floor or ceiling heating. Vertical air temperature gradient. Natural convection with no ventilation. Mean water temperature $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Heat flux from the floor and ceiling heating systems: $24,1\text{ W/m}^2$ and $24,5\text{ W/m}^2$. Reference temperature is $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figur 4.1 viser at lufttemperaturen ved benyttelse av gulvvarme er tilnærmet lik uavhengig av høyde over gulvnivå, mens lufttemperaturen ved benyttelse av takvarme er stigende med økende høyde over gulvnivå. For gulvvarme er temperaturen på gulvoverflaten høyere enn den gjennomsnittlige romluftstemperaturen, mens den gjennomsnittlige romluftstemperaturen for takvarme er noe høyere enn temperaturen på gulvoverflaten.

Figur 4.2 viser vertikal temperaturgradient i varmelaboratoriet for tak- og gulvvarme med vanlig kontorventilasjon, forsøk nummer 13 og 18 iht. tabell 3.3. Ved utetemperatur $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og gjennomsnittlig vanntemperatur $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, blir den spesifikke varmeavgivelsen fra gulv- og takvarmeanlegget henholdsvis $26,5\text{ W/m}^2$ og $29,3\text{ W/m}^2$. Dette viser at takvarmeanlegget avgir mer varme enn gulvvarmeanlegget med samme vanntemperatur. Ventilasjonsluftmengden er $120\text{ m}^3/\text{h}$, dvs. fire luftskifter pr. time. De øverste og nederste punktet i figuren viser overflatetemperaturene på gulvet og taket. Takhøyden er $2,3\text{ m}$. Da innblåsningstemperaturen for ventilasjonsluften har en temperatur på $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ vil takvarmeanlegget meget effektivt ettervarme tilluften og øke takets konvektive varmeavgivelse.



Figur 4.2: Vertikal temperaturgradient for tak- og gulvvarme med ventilasjon (4 h^{-1}).

Vertical air temperature gradient with floor or ceiling heating. Ventilation rate 4 air changes / hour (office ventilation). Inlet air temperature $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ and water temperature $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Heat flux from the floor and ceiling heating systems: $26,6\text{ W/m}^2$ and $29,3\text{ W/m}^2$. Reference temperature $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

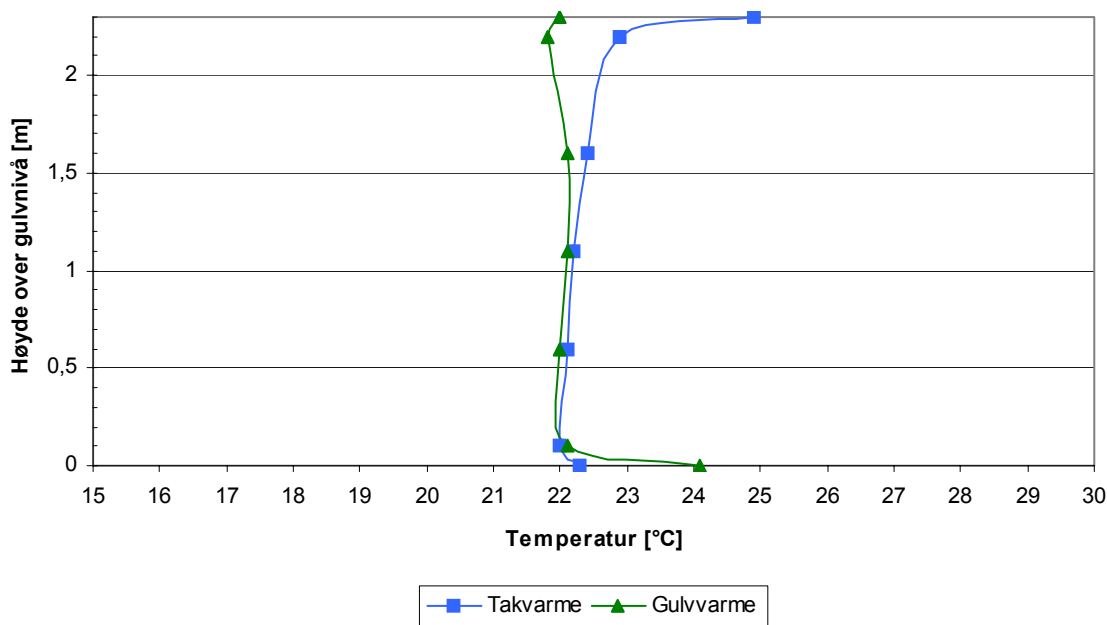
Figur 4.2 viser at lufttemperaturen ved benyttelse av tak- og gulvvarme er tilnærmet lik uavhengig av høyde over gulvnivå. For gulvvarme er temperaturen på gulvoverflaten høyere enn den gjennomsnittlige romluftstemperaturen, mens den gjennomsnittlige romluftstemperaturen for takvarme er tilnærmet lik temperaturen på gulvoverflaten.

Forsøkene viser at kravet til maksimal vertikal temperaturforskjell er tilfredsstillt for tak- og gulvvarmeanlegget i varmelaboratoriet med og uten ventilasjon. Temperaturforskjellen mellom hode og føtter overstiger ikke $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, dvs. at antall misfornøyde er under 5% [1].

Forsøkene viser også at kravet til maksimal asymmetrisk stråling er oppfylt for tak- og gulvvarmeanlegget i varmelaboratoriet med og uten ventilasjon. Strålingsasymmetrien mellom personer og varm himling overstiger ikke $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, dvs. at antall misfornøyde er under 5% [1].

Sammenligning av figur 4.1 og 4.2 viser at den vertikale temperaturfordelingen i rommet for takvarme blir tilnærmet konstant med ventilasjon, dvs. bedre omrøring av romluften slik at lufttemperaturen blir mer homogen. Med ventilasjon tilnærmer kurven seg den ideelle temperaturfordelingskurven, noe som er komfortmessig gunstig [1]. Den vertikale lufttemperaturen for gulvvarme blir tilnærmet lik både med og uten ventilasjon (4 h^{-1}). Selv med ett luftskifte pr. time (boligventilasjon), vil den vertikale temperaturgradienten for takvarme tilnærme seg den ideelle temperaturfordelingskurven, se figur 4.3.

Figur 4.3 viser vertikal temperaturgradient for tak- og gulvvarmeanlegget i varmelaboratoriet med ett luftskifte pr. time, forsøk nummer 16 og 17 iht. tabell 3.3. Ved utetemperatur $5 \text{ }^\circ\text{C}$ og gjennomsnittlig vannetemperatur $30 \text{ }^\circ\text{C}$, blir den spesifikke varmeavgivelsen fra gulv- og takvarmeanlegget henholdsvis $20,0 \text{ W/m}^2$ og $20,6 \text{ W/m}^2$. De øverste og nederste punktet i figuren viser overflatetemperaturene på gulvet og taket. Takhøyden er $2,3 \text{ m}$.



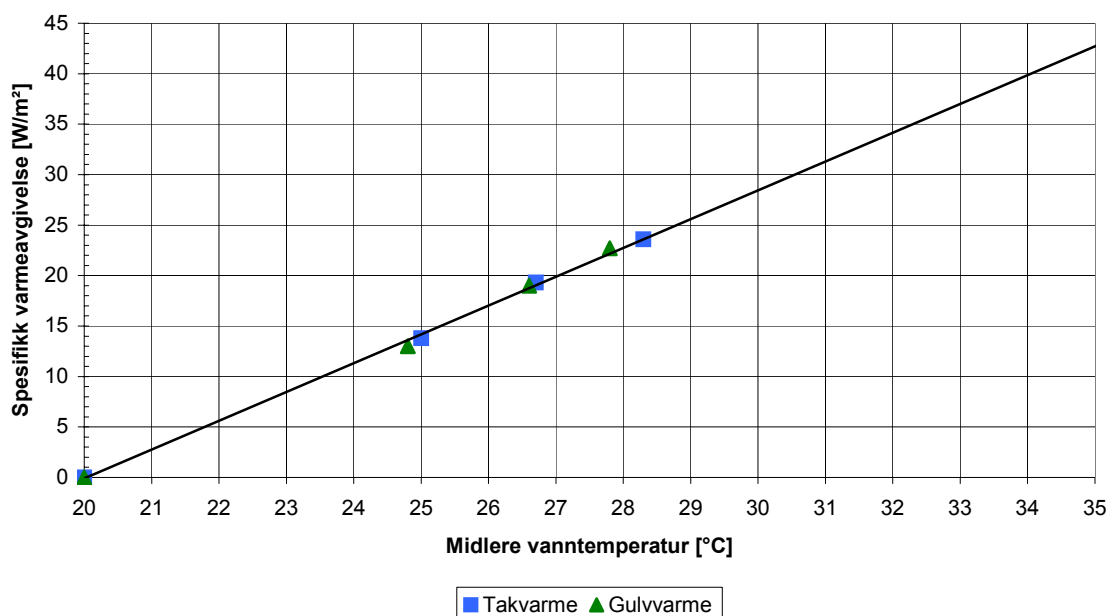
Figur 4.3: Vertikal temperaturgradient for tak- og gulvvarme med ventilasjon (1 h^{-1}).

Vertical air temperature gradient with floor or ceiling heating. Ventilation rate 1 air change/hour (residential ventilation rate). Inlet temperature $18 \text{ }^\circ\text{C}$ and water temperature $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Heat flux from the floor and ceiling heating systems: $20,0 \text{ W/m}^2$ and $20,6 \text{ W/m}^2$. Reference temperature $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.3 – Effektavgivelse under stasjonære forhold

Effektavgivelsen fra tak- og gulvvarmeanlegget begrenses av varmemotstanden i selve rørveggen og samlet varmemotstand fra røroverflaten til heteflaten. For å forbedre varmeoverføringen fra varmerørene til aluminiumsplatene, er det en fordel å bruke rør med større diameter uten at dette skaper problemer ved rørleggingen. I disse målingene er det benyttet varmerør med ytre diameter 20 mm med godstykkelse 2 mm. Det er samtidig brukt en type varmfordelingsplater i aluminium som sammen med spesielle tiltak i rørbøyene dekker ca. 80 % av det totale heteflatearealet. I tillegg har tak- og gulvvarmeanlegget liten overdekning for å gi så liten varmemotstand som mulig. Rørene og aluminiumsplatene er overbygd med henholdsvis 13 mm parkett og 13 mm gipsplater [1]. Det er derfor lagt stor vekt på at den lette utførelsen av både tak- og gulvvarmeanlegg skal ha en effektiv varmeoverføring med lavest mulig vanntemperatur. Det betyr minst mulig temperaturtap fra varmerør til heteflaten.

Figur 4.4 illustrerer den spesifikke varmeavgivelsen fra gulv- og takvarmeanlegget som funksjon av midlere vanntemperatur ved en romtemperatur på 20 °C. Det er ikke benyttet ventilasjon. Av figur 4.4 ser man at den spesifikke varmeavgivelsen fra den aktuelle utførelsen av tak- og gulvvarmeanlegget tilnærmet er den samme. Dersom man ønsker en spesifikk varmeavgivelse på 30 W/m², krever det en midlere vanntemperatur på 30,5 °C. Tilsvarende vil en spesifikk varmeavgivelse på 40 W/m² kreve en midlere vanntemperatur på 34 °C.

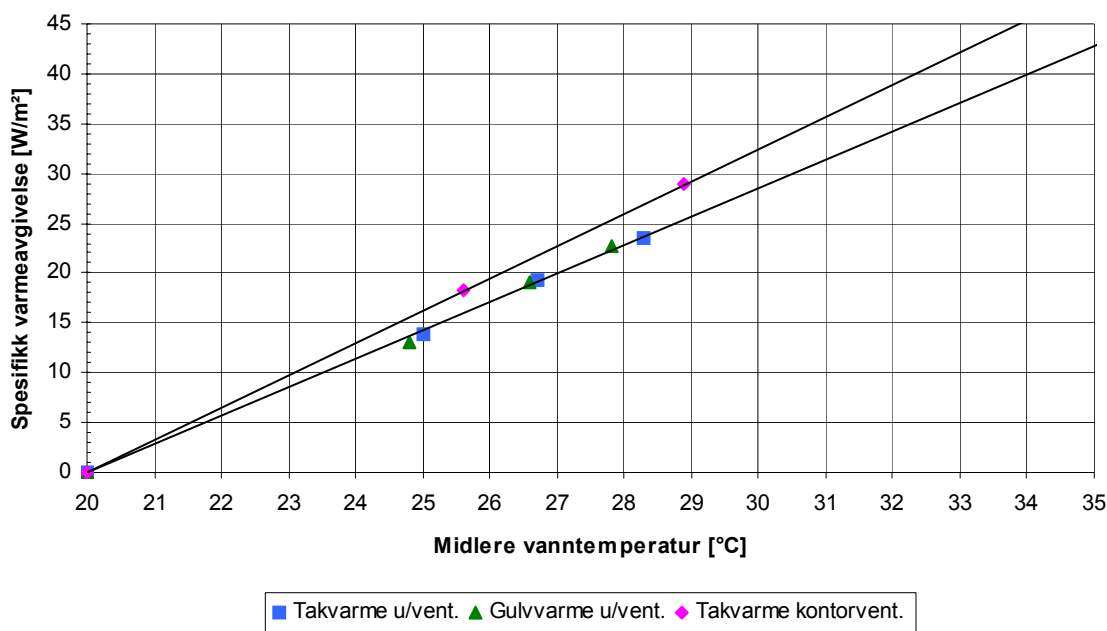


Figur 4.4: Spesifikk varmeavgivelse for tak- og gulvvarme som funksjon av midlere vanntemperatur ved en romtemperatur på 20 °C. Det er ikke benyttet ventilasjon.

Heat flux from under-floor and ceiling heating systems versus average water temperature, (natural convection). Room reference temperature 20 °C.

Med en radiell tilluftsventil plassert i senter av taket, kan man øke den konvektive varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget. Samtidig forvarmes ventilasjonsluften av takoverflaten før den tilføres oppholdssonen. Dette vil senke overflatetemperaturen og strålingsandelen fra taket. Målinger viser at den totale varmeavgivelsen fra taket med samme vanntemperatur og vannføring øker med ca. 12 % ved fire luftskifter pr. time og med tilluftstemperatur 18 °C. Takvarmeanlegget avgir dermed mer varme enn gulvvarmeanlegget ved samme vanntemperatur. Dette fremgår av figur 4.5 som viser spesifikk varmeavgivelse fra tak- og gulvvarmeanlegget som funksjon av midlere vanntemperatur. Romtemperaturen er 20 °C. Varmeavgivelsen fra gulvvarmeanlegget vil ikke bli påvirket av økt ventilasjonsgrad med takplassert tilluftsventil. Det skyldes at varmeoverføring ved konveksjon allerede utgjør omtrent halvparten av varmeavgivelsen fra gulvvarmeanlegget.

Da mye av oppvarmingen av rommet fra takflaten blir benyttet til forvarming av ventilasjonsluften ved konveksjon, blir strålingsandelen betydelig redusert. I perioder med stort varmebehov er det derfor nødvendig å øke vanntemperaturen for å opprettholde varmebalansen i rommet. Denne løsningen vil kreve balansert ventilasjon med varmegjenvinning og der tilluftsventilen er plassert i taket. Tidligere målinger viser at en veggplassert tilluftsventil, når denne er plassert i takhøyde, også vil kunne øke varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget. En effektiv ettervarming av tilluften er viktig for å forhindre kald trekk. En kobling mellom ventilasjonsanlegg og varmeanlegg er derfor viktig som vil sikre en effektiv varmeavgivelse fra varmeanlegget og et godt inn klima.

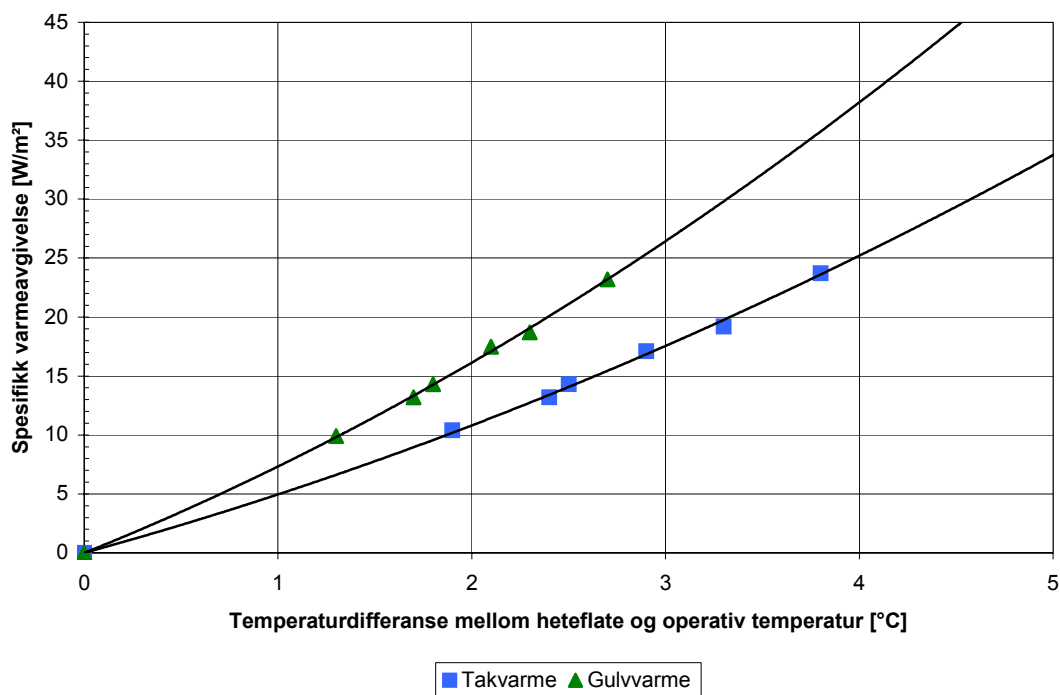


Figur 4.5: Spesifikk varmeavgivelse for tak- og gulvvarme som funksjon av midlere vanntemperatur uten og med ventilasjon ($4 h^{-1}$). Romtemperaturen er 20 °C.

Heat flux from floor and ceiling heating system versus average water temperature with and without office ventilation ($4 h^{-1}$). Room temperature 20 °C.

Figur 4.6 viser spesifikk varmeavgivelse fra tak- og gulvvarmeanlegget som funksjon av temperaturdifferanse mellom heteflate og gjennomsnitt operativ temperatur for rommet. Det er ikke benyttet ventilasjon. Den operative temperaturen er et gjennomsnitt av verdiene målt 0,6, 1,1 og 1,6 m over gulvnivå ved streng 2 [1]. Av figur 4.6 går det fram at den spesifikke varmeavgivelsen er ca. 30 % høyere for gulvvarmeanlegget enn takvarmeanlegget med samme midlere overflate-temperatur uten mekanisk ventilasjon. Dette skyldes at egenkonveksjonen fra gulvvarmeanlegget er større enn for takvarmeanlegget. Med en overtemperatur på heteflatene på 3 °C i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i rommet vil ekvivalent varmeovergangstall for gulvflaten ligge på 8,8 W/m²K og tilsvarende for takflaten på 5,9 W/m²K, en forskjell på 33 %.

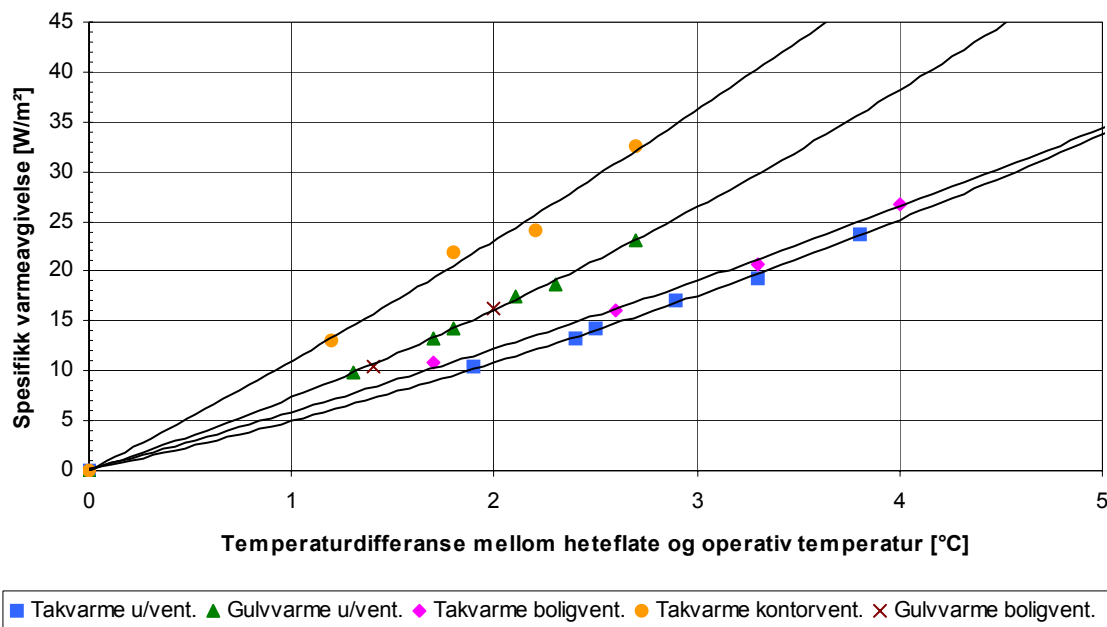
Når takvarmeanlegget benyttes og ventilasjonsanlegget er inaktivt, vil det dannes en varmepute oppunder taket. Der vil temperaturen være høyere enn ved en høyde på f. eks. 1,1 m over gulvnivå, se figur 4.1. For å oppnå samme spesifikke varmeavgivelse på 30 W/m² for gulv- og takvarmeanlegget, vil dette kreve ca. 1,3 °C høyere overflatetemperatur på taket. Dette viser også at med en varmeavgivelse på 30 W/m² vil temperaturtapet fra midlere vanntemperatur til heteflaten for gulvvarmeanlegget være hele 7,2 °C og tilsvarende redusert til 5,9 °C for takvarmeanlegget.



Figur 4.6: Spesifikk varmeavgivelse for tak- og gulvvarme som funksjon av temperaturdifferanse mellom heteflate og operativ temperatur uten bruk av ventilasjon.

Heat flux from the under- floor and ceiling heating systems versus temperature diff. between the heating surface and an average operative room temperature (natural convection).

Figur 4.7 viser spesifikk varmeavgivelse fra tak- og gulvvarmeanlegget som funksjon av temperaturdifferansen mellom heteflate og operativ temperatur. Figuren inneholder fire kurver. For takvarmeanlegget er kurvene for ingen, en (boligventilasjon) og fire (kontorventilasjon) luftskifter pr. time tegnet inn, mens det for gulvvarmeanlegget er tegnet inn kurver for ingen og ett luftskifte pr. time. Den operative temperaturen er et gjennomsnitt av verdiene målt 0,6, 1,1 og 1,6 m over gulvnivå ved streng 2 [1].



Figur 4.7: Spesifikk varmeavgivelse for tak- og gulvvarme som funksjon av temperaturdifferanse mellom heteflate og operativ temperatur ved ulike luftvekslinger.

Heat flux from the under-floor and ceiling heating system versus temperature diff. between the heating surface and an average operative room temperature.

Av figur 4.7 går det fram at den spesifikke varmeavgivelsen er lik for gulvvarmeanlegget med ingen og ett luftskifte pr. time. Dette forklares ved at konveksjonsgraden for gulvvarmeanlegget er stor, slik at ventilasjonen har liten innvirkning på varmeavgivelsen. Den spesifikke varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget ved fire luftskifter pr. time og med samme temperatur på heteflaten, er ca. 30 % høyere sammenlignet med gulvvarmeanlegget. Ved å øke antall luftvekslinger pr. time fra ingen til en og fire, vil den spesifikke varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget øke med henholdsvis 10 og 50 %. Dette viser tydelig at ventilasjonsluftmengdens størrelse har stor innvirkning på varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget. Dette er interessant og viser at man har et stort potensiale til å øke varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget. En økt konvektiv varmeavgivelse fra takvarmeanlegget vil samtidig gi en bedre luftblanding som vil senke takets overtemperatur. Man kan derfor tåle en vesentlig større spesifikk varmeavgivelse fra takvarmeanlegget uten at dette går på bekostning av et dårligere inn klima.

4.4 – Effektavgivelse, dynamiske forhold

Figur 4.8 viser avgitt effekt fra henholdsvis tak- og gulvvarmeanlegget under en oppvarmingsperiode. Under oppvarmingsperioden er både turtemperaturen på vannet og vannføringen holdt tilnærmet konstant og er den samme for gulv- og takvarmemålingene. Turtemperaturen er 30 °C og vannføringen gir en vannhastighet i varmerørene på ca. 0,25 m/s. Under målingene er kjølesjiktet i alle prøverommets begrensingsflater holdt konstant på 5 °C som simulerer en uteluftstemperatur på 5 °C. Under stasjonære forhold vil det bety en romluftstemperatur på 5,0 °C. Målingene ble satt i gang med en temperatur i prøverommet for tak- og gulvvarme målingene på henholdsvis 6 °C og 8 °C. Varmeavgivelsen for den aktuelle utførelsen av varmeanleggene vil under stasjonære forhold være tilnærmet den samme 18 – 19 W/m² enten man bruker tak- eller gulvvarmeanlegget. Med en turtemperatur på 30 °C vil gjennomsnittlig operativ i prøverommet med den aktuelle klimabelastningen vil ligge rundt 23 °C.

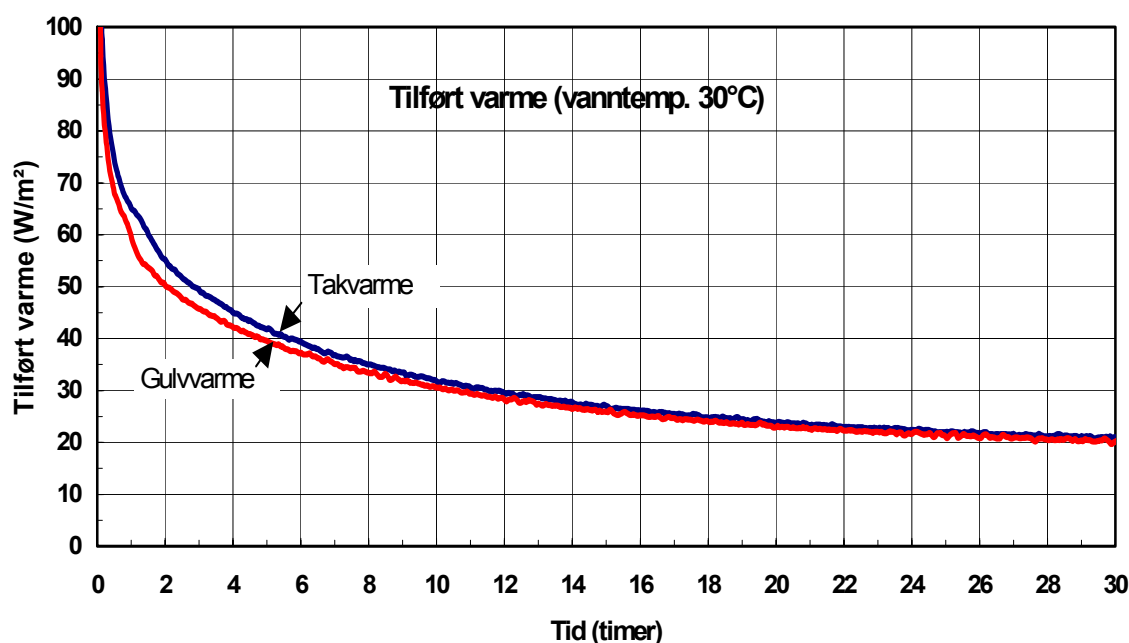


Fig. 4.8. Avgitt varme fra varmekilden til varmeanlegget.

Lightweight floor and ceiling heating system (natural convection). Heat emission during a heating up period.

Det fremgår av fig. 4.8 at man på grunn av vannets store varmekapasitet og store temperaturdifferanser oppnår en betydelig varmetilførsel til gulvkonstruksjonen ved oppstart av varmeanlegget. Denne varmen utnyttes i første omgang til å varme opp selve gulv- eller takkonstruksjonen. For at varmen som tilføres varmeanlegget fra energikilden direkte skal utnyttes til romoppvarming er det viktig at gulvbelegget og himlingsplatene over og under varmfordelingssjiktet har liten varmekapasitet og varmemotstand eller størst mulig termisk diffusivitet. Det fremgår av fig. 4.8 at takvarmeanlegget får tilført og dermed avgir noe mer varme enn gulvvarmeanlegget i tidlig fase av oppvarmingsperioden. Noe skyldes at starttemperaturen for taket lå ca. to grader under tilsvarende for gulvoverflaten, men den vesentlig forskjellen skyldes at takvarmeanlegget har mindre varmekapasitet og varmemotstand over varmfordelingssjiktet. Takflaten med takvarme oppnår dermed å få en hurtigere temperaturøkning enn gulvoverflaten med gulvvarme, se fig. 4.9.

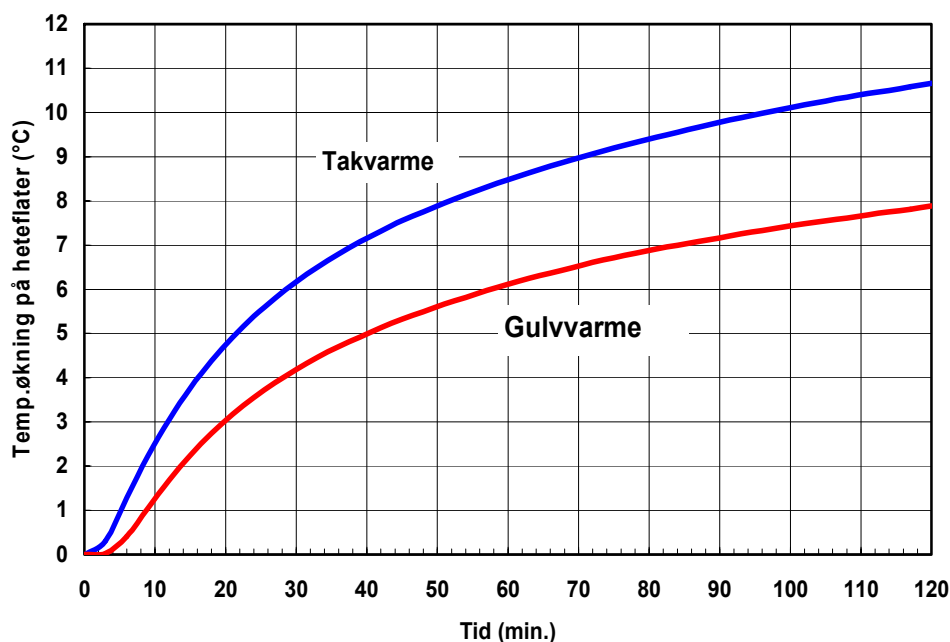


Fig. 4.9. Temperaturøkningen på heteflatene etter at varmeanleggene er satt i drift. Vannets turtemperatur er holdt konstant på 30 °C. Romluftstemperaturen ved anleggsstart ligger på 6 – 8 °C.

The increase in surface temperature for ceiling and under-floor heating systems during a heating up period. Lightweight floor heating system, top layer 13 mm parquet and ceiling heating system 13 mm gypsum board underneath the aluminum heat distribution sheet.

Figur 4.9 viser dødtiden før man registrerer overtemperatur og dermed avgitt effekt fra tak- og gulvvarmeanlegget til rommet er henholdsvis ca. 2 og 5 minutter. Takvarmeanlegget med 13 mm gipsplater over varmfordelingsplatene sørger derfor for en meget effektiv varmeoverføring fra varmerørene til heteflatene. Målinger viser at med samme turtemperatur på vannet vil den aktuelle gulv- og takvarmekonstruksjonen omtrent være likeverdige når det gjelder varmeavgivelse til rommet. Dette forutsetter igjen stasjonære forhold. Da takvarmeanlegget vesentlig avgir varme ved stråling, vil varmeavgivelsen i startfasen vesentlig gå til å varme opp tilstøtende flater som deretter konvektivt varmer opp luften. Når det derimot gjelder gulvvarmeanlegget vil i tillegg en betydelig del av varmen fra heteflatene avgis ved konveksjon. Det vil si oppvarming av tilstøtende luft som vil stige opp og erstattes av kaldere luft. Med samme overflatetemperatur på heteflatene på gulv- og takvarmeanlegget vil gulvvarmeanlegget derfor har en høyere varmeavgivelse enn takvarmeanlegget. Høyere varmeavgivelse krever igjen høyere turtemperatur på vannet. Målet for lavtemperatur varmeanlegg er imidlertid å oppnå størst mulig varmeavgivelse med lavest mulig vanntemperatur. Ved bruk av alternative fornybare energikilder vil et lavt temperaturnivå være en nødvendig forutsetning for god energieffektivitet. Målingene viser at ved å bruke et takvarmeanlegg med himlingsplater under varmfordelingssjiktet med høyere termisk diffusivitet enn gulvbelegget (13 mm parkett) vil dette med samme turtemperatur kunne kompensere for en dårligere varmeoverføring fra heteflatene.

Figur 4.9 viser at temperaturøkningen på takflaten i en tidlig oppvarmingsfase er ca. 50 % hurtigere enn tilsvarende for gulvoverflaten ved bruk av gulvvarme. Dette mer enn kompensere for en dårligere varmeovergang fra takflate. Forskjellen er i dette tilfellet relativt beskjeden, men vil ytterligere kunne økes ved at termisk diffusivitet for himlingsplatene under varmfordelingssjiktet økes ytterligere. Dette kan for eksempel oppnås ved å erstatte 13 mm gipsplater himlingsplater med 7 mm gipsplater. Med en gjennomsnittlig varmeavgivelse fra takvarmeanlegget på 20 W/m^2 vil dette kunne bety en økning av takflatens overflatetemperatur på ca $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette vil igjen med samme vanntemperatur kunne gi en økning av varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget på ca. 12 %. Dette viser at man har et større potensiale når det gjelder å kunne øke varmeavgivelsen fra takvarmeanlegg i forhold til et tilsvarende gulvvarmeanlegg. I bygninger med lavt varmebehov vil det kunne bety lavere vanntemperaturer og dermed høyere samlet energieffektivitet.

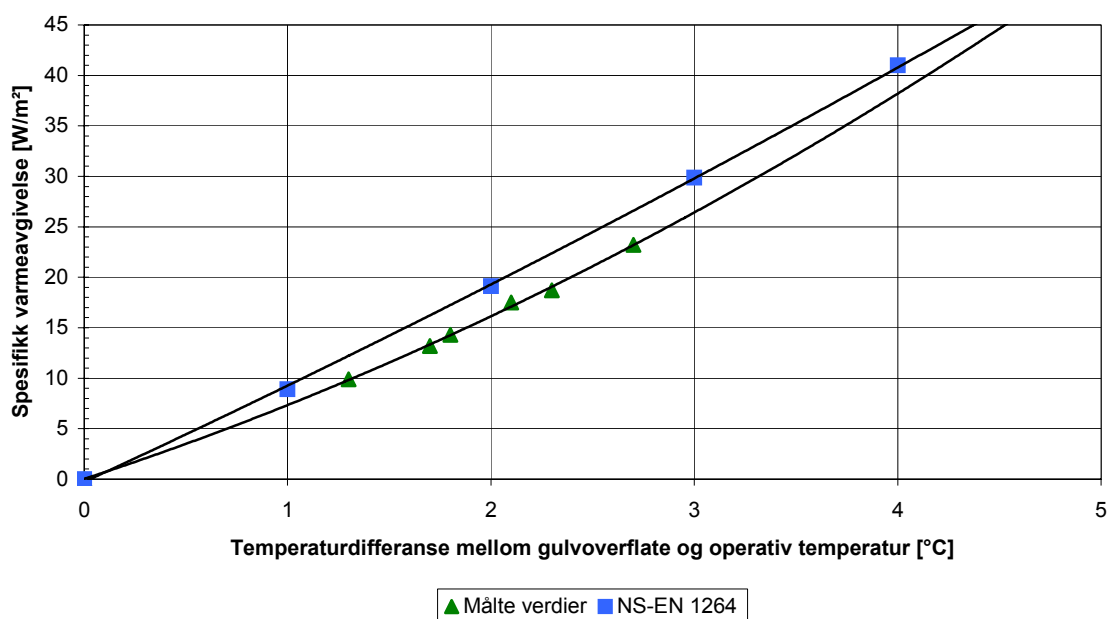
Figur 4.9 viser at begge varmeanleggene har en beskjeden tidskonstant for oppvarming som ligger i størrelsesorden fra 20 og 30 minutter henholdsvis for takvarme- og gulvvarmeanlegget.

4.5 – Sammenligning med NS-EN 1264

Forsøksresultatene viser at spesifikk varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegget ligger ca. 10 % lavere enn standarden EN 1264 [8], se figur 4.10. Den spesifikke varmeavgivelsen i EN 1264 beregnes etter formel 4.1.

$$q = 8,92 \cdot (T_g - T_l)^{1,1} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.1)$$

q	= spesifikk varmeavgivelse	$[\text{W/m}^2]$
T_g	= overflatetemperatur gulv	$[\text{K}]$
T_l	= operativ temperatur	$[\text{K}]$



Figur 4.10: Spesifikk varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegget som funksjon av temperaturdifferanse mellom gulvoverflaten og operativ temperatur.

Measured heat flux from the floor heating system compared with the reference values given in the NS-EN 1264.

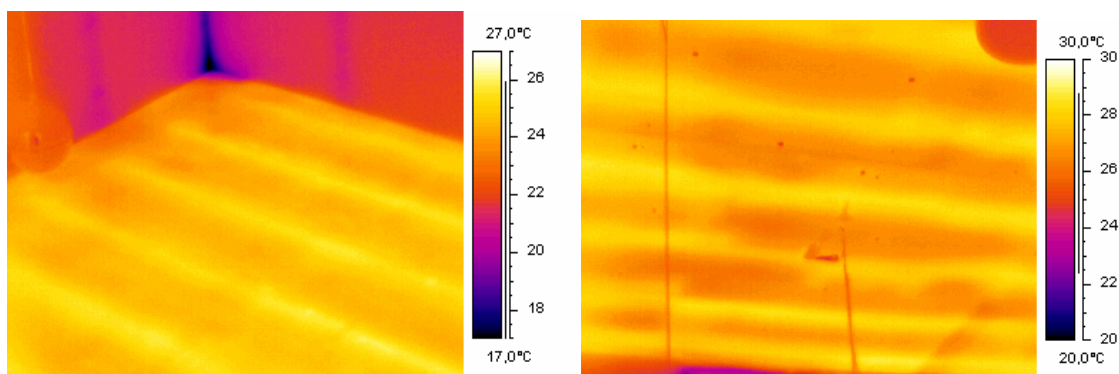
Våre målinger av varmeavgivelsen fra gulvvarmeanlegget ligger vel 10 % lavere enn de verdier som er brukt som referanse i NS-EN 1264.

Noe av forskjellen kan være at de verdier som er lagt til grunn for varmeavgivelsen fra gulvvarmeanlegg angitt i EN 1264 forutsetter mer tvungen konveksjon fra f. eks. kaldras fra vindu, menneskelig aktivitet og dører som åpnes og lukkes. Våre målinger er utført under forutsetning at alle omhyllningsflater utgjør en del av klimaskjermen. Det normale er imidlertid at rommet bare har en eller to flater som inngår som en del av klimaskjermen. Dette vil ha stor betydning for rommets strålingsbalanse som igjen vil påvirke gulvoverflatens ekvivalente varmeovergangstall. Dette er den mest sannsynlige årsaken til den relativt store forskjellen i varmeavgivelse i det kontorventilasjon med fire luftvekslinger i timen og med innblåsningstemperatur 18 °C, ikke hadde noen betydning for gulvvarmeanleggets relative ekvivalente varmeovergangstall.

Da det ofte er uklart hvilke forutsetninger som ligger til grunn for standardiserte referanseverdier, vil vi generelt anbefale å bruke målte verdier ved dimensjonering av gulv og takvarmeanlegg. Dette er særlig viktig for lavtemperatur varmeanlegg som har sterke begrensninger når det gjelder vanntemperaturer.

4.6 – Termografering

Bildene i figur 4.11 er tatt med et termovisjonskamera. Bildene viser henholdsvis temperaturfordelingen over tak- og gulvflaten ved drift av varmeanleggene. Overflatetemperaturen på parketten og gipsplatene er naturlig nok høyest over plasseringene av røroverflaten og varmfordelingsplatene. Det fremgår også at temperaturforskjellen umiddelbart over og mellom varmerørene er noe større for takvarmeanlegget. Dette skyldes at overflatetemperaturen umiddelbart under varmerørene er høyere for takvarmeanlegget i forhold til gulvvarmeanlegget med samme varmeavgivelse. Det er også interessant å se at overflatetemperaturen er høyest umiddelbart over varmerørene. Dette til tross for at det her ikke er direkte varmeledende kontakt mellom varmfordelingsplater parkett eller himlingsplater. Ved bruk av Al- varmfordelingsplater er det spesielt for takvarmeanlegg viktig å sikre best mulig kontakt mellom varmfordelingsjikt og himlingsplater som i dette tilfellet var 13 mm gipsplater. For gulvvarmeanlegget fremgår det tydelig at varmeavgivelsen i rørbøyene der det ikke er brukt varmfordelingsplater er vesentlig mindre. Dette er det viktig å ta hensyn til ved valg av rørmønster i rom med en eller flere faser mot klimaskjermen.



Figur 4.11: Temperaturfordelingen over gulvflaten (t.v.) og takflaten (t.h.).

Pictured taken with a thermo vision camera. Floor surface to the left and ceiling surface to the right.

Ved å bruke et termovisjonskamera kan man enkelt kontrollere at varmfordelingen og varmeavgivelsen er i overensstemmelse med forutsetningene.

5. Kjøling

En stor fordel med å montere heteflater i himlingen er at disse også kan brukes til kjøling. Man kan da forvente et varmeovergangstallet ved kjøling som vil ligge nær den man har for et gulvvarmeanlegg der varme tilnærmet avgis likt fordelt ved konveksjon og stråling. Figur 5.1 viser noen resultater fra laboriemålinger der takvarmeanlegget er brukt til kjøling. Det fremgår at varmeovergangstallet for gulvvarmeanlegget og takvarmeanlegget brukt som kjøletak omtrent er like stort. Med en temperaturforskjell på 3 °C mellom en gjennomsnittlig operative romtemperatur og gulv-/takoverflaten, vil varmeovergangstallet for begge heteflater ligge på ca. 9 W/m²K.

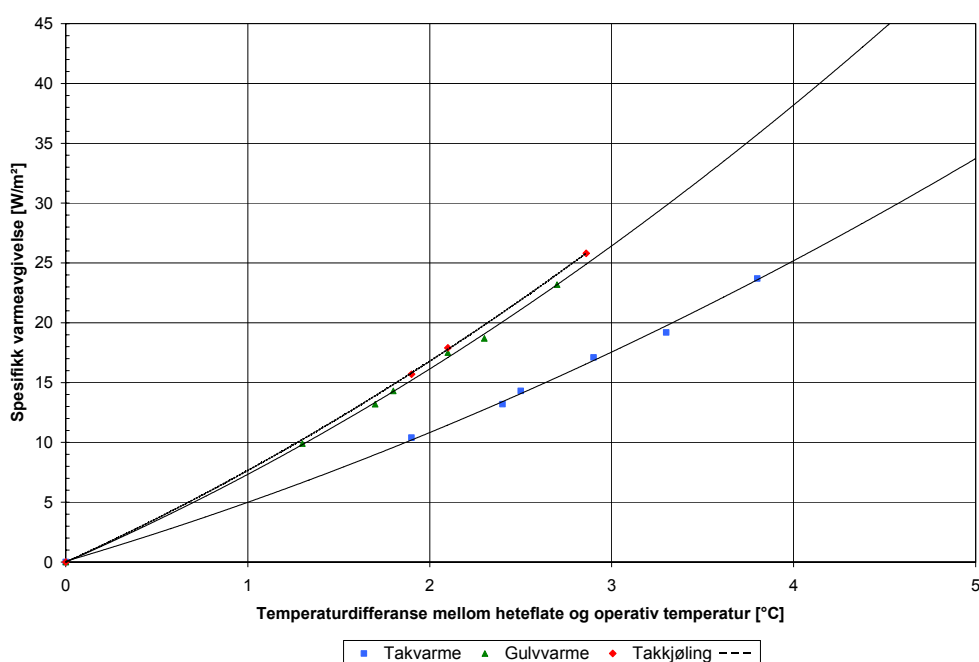


Fig. 5.1. Måleresultater. Sp. varme og kuldeytelse for gulvvarme, takvarme og takkjøling som funksjon av temperaturdifferanse mellom heteflate- og midlere operative romtemperatur.

Test results. Heating and cooling flux as function of the temp. diff. between the heating/cooling area and mean operative room temperature. No ventilation.

For den aktuelle takkonstruksjonen med plast varmerør og aluminium varmfordelingsplater i spor i porøse trefiberplater vil man i perioder kunne senke inngangstemperaturen på vannet ned mot 10 °C uten at dette vil skape kondensproblemer. Man vil da kunne ha en gjennomsnittlig vanntempertur på ca. 12 °C. Under dimensjonerende forhold med maksimal kjøleeffekt vil temperaturfallet fra vannet til røroverflaten, som har direkte kontakt med aluminiumsplatene, sørge for en hurtig heving av rør og omgivelsestemperaturen. Den underliggende relativt diffusjonsåpne gipsplaten vil også i perioder lokalt kunne absorbere noe fuktighet uten at dette fører til problemer.

Målingene viser at med en midlere romtemperatur på 25 °C og vanntemperatur 13 °C vil takflatens kuldeytelse ligge på ca. 35 W/m². Under forutsetning at rommet er tilstrekkelig skjermet mot direkte solinnstråling vil dette normalt kunne representere en tilfredsstillende kuldeytelse.

På grunn av økt konvektiv varmeavgivelse fra en kald takoverflate hadde vi imidlertid forventet en noe høyere kuldeytelse for det aktuelle takkjøleanlegget. Det kan skyldes noe infiltrasjonsvarmetap og det forhold at man ikke hadde oppnådd stasjonære forhold i testrommet. Som for varmeanlegget vil denne kuldeytelsen kunne økes med ca. 20 % ved å redusere tykkelsen på gipsplate fra 13 til 6 mm. Man kan også øke takets kuldeytelse ved å bruke en tillufts tallerkenventil plassert sentralt i taket.

6. Konklusjon

Nyere forskning på områder som omfatter komfort, luftkvalitet, menneskets eget energibehov for å opprettholde kroppstemperaturen (exergiforbruk) og boligens energibehov, viser at man bør senke lufttemperaturen og tilsvarende øke midlere strålingstemperatur. I prinsippet favoriserer dette bruk av lavtemperatur strålevarmeanlegg av typen gulv-, vegg- og takvarme.

Strålingskomponenten for gulv- og takvarmeanlegg er den samme, men et gulvvarmeanlegg vil i tillegg ha en konvektiv varmeavgivelse. For en gitt temperaturredifferanse mellom heteflaten og operativ romtemperatur vil gulvvarmeanlegget ha 20 – 25 % høyere varmeavgivelse. Denne forskjellen i varmeavgivelse må kompenseres ved å øke takets overflatetemperatur. Dette behøver nødvendigvis ikke betyr høyere vanntemperatur i det man kan bruke himlingsmaterialer med lav varmemotstand, for eksempel gipsplater.

Målingene viser at takvarmeanlegg tilfredsstiller de funksjonskrav man bør stille til varmeanlegg i oppholdsrom i moderne godt isolerte bygninger med moderat og lavt varmebehov. Den vertikale temperaturgradienten i oppholdssonen vil være tilnærmet lik både for tak og gulvvarmeanlegg. Takvarmeanlegget kan gjøres lite varmetreget og kan effektivt utnytte meget lave vanntemperaturer. I målingene ble det benyttet et takvarmeanlegg der det var brukt 13 mm gipsplater under varmfordelingsplatene. For å oppnå en varmeavgivelse på 30 W/m² krevde dette en midlere vanntemperatur 30,5 °C. Temperaturtapet fra vannet i varmerørene til heteflaten var da ca. 6 °C. Tilsvarende temperaturtap for gulvvarmeanlegget med 13 mm parkett var 7,2 °C. Ved å redusere tykkelsen på gipsplatene fra 13 mm til 7 mm vil tilsvarende temperaturtapet reduseres med ca. 0,7 °C. For samme vanntemperatur vil dette bety en økning av varmeavgivelsen på 20 % til ca. 36 W/m². Lav varmemotstand for himlingsmaterialene under varmfordelingssjiktet er derfor av vesentlig betydning for varmeavgivelsen og dermed mulighet for ytterligere å kunne senke vanntemperaturen.

Heteflatene i et takvarmeanlegg kan også bygges opp av såkalte kappilarrørsmatter i Polypropylen plast som består av et tur og retur samlerør forbundet med en rekke parallelle rørsøyfer med liten diameter (3,4x0,55 mm) og senteravstand 10 - 30 mm. Samlerørene kan ligge på samme side eller på hver side av takflaten. Varmerørene forutsettes pusset inn med en samlet pusstykke på 8 - 10 mm. I Europa brukes disse mattene både til gulv, vegg og takvarmeanlegg. Kappilarrørsmatter plassert i taket brukes også til kjøling der det angis en kjøleytelse opp mot 80 W/m². Denne utførelsen vil ytterligere kunne redusere temperaturtapet fra vannet i varmerørene til takoverflaten.

Lav vanntemperatur gir god utnyttelse av alternative fornybare energikilder til oppvarmingsformål for eksempel ved bruk av varmepumper, solvarme, etc. En effektivitet som ytterligere kan forbedres ved å koble takvarmeanlegget sammen med ventilasjonsanleggets friskluftstilførsel. Man oppnår da samtidig en ettervarming av tilluften, unngår kald trekk i oppholdssonen og får en mer utjevnet vertikal temperaturgradient. Det forhold at vannbårne takvarmeanlegg kan gjøres lite varmetrege og at tilnærmet all varmeavgivelse foregår ved stråling, gjør at man hurtig får avgitt en betydelig effekt til rommet etter oppstart av anlegget.

Da takvarmeanlegg normalt monteres i mellombjelkelag og ikke i tilknytning til klimaskjermen, vil man kunne unngå tilleggsvarmetap. Tilleggsvarmetap som er direkte avhengig av varmeanleggets temperaturnivå. Et tilleggsvarmetap som eventuelt kan kompenseres ved bruk av ekstra isolasjon som igjen gir økte anleggskostnader.

For bygninger med lave og moderate varmebehov vil takvarmeanlegget komfortmessig være på linje med gulvvarmeanlegg med nær homogen vertikal temperaturgradient i oppholdssonen. For rom med større varmebehov ($\geq 50 \text{ W/m}^2$ effektiv takflate), ofte på grunn av dårlig vindus- eller gulvisolasjon, bør takvarmeanlegget suppleres med annen varmekilde. Takvarmeanlegget vil generelt bidra til å heve temperaturen på gulvoverflaten og dermed sikre nær ideell temperatur på gulvoverflaten for personer med lett innendørs fottøy. Dette forutsetter en godt isolert gulvkonstruksjon uten kuldebro i randsonen. Takvarme vil ikke kunne kompensere for lave gulvtemperaturer for et dårlig isolert gulv. Kalde gulv bør løses ved å forbedre gulvisolasjonen, og da spesielt i randsonen mot yttervegger, og ikke ved ensidig bruk av gulvvarme som vil gi et uakseptabelt høyt varmetap og dermed energiforbruk.

Rom med takvarme vil bedre kunne nyttiggjøre passiv solvarme og ikke bidra til å forsterke problemer med overtemperaturer. Man har også mulighet på en relativt enkel måte å bruke takvarmeanlegget til kjøling og dermed sikre bedre temperaturkontroll.

Rent produksjonsteknisk vil det være relativt enkelt å montere et takvarmeanlegg som kan gjøres på et senere tidspunkt i byggeprosessen og som ikke påvirker byggets bærende elementer. Det er da viktig på en enkel måte å integrere takvarmeanlegget i bygningskonstruksjonen. Det kan derfor være ønskelig med en stor grad av prefabrikking. Rapporten gir eksempel på hvordan dette kan gjøres.

Referanseliste

- [1] Krog, B.R., Gundersen, P. og Axelsen, E.P.; *Vannbårne lavtemperatursystemer kombinert med ventilasjon i bygninger*, Byggforsk, Prosjektrapport 357 – 2003
- [2] Gundersen, P.; *Energifleksible varmeanlegg - Energieffektiv vannbåren lavtemperaturvarme*, Byggforsk, Prosjektrapport 270 – 2000
- [3] Gundersen, P.; *Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg*, Byggforsk, Prosjektrapport 317 - 2002
- [4] Gundersen, P.; *Lavtemperatur i varmeanlegg - Takvarme i ny og eksisterende bebyggelse*, Byggforsk, Prosjektrapport 337 - 2002
- [5] Gundersen, P.; *Gulv på grunnen*, Byggforsk, Prosjektrapport – 2003
- [6] Hagen, G., Krog, B.R.; *Komfortvurdering av vannbåren gulv- og takvarme som oppvarmingssystem*, Hovedoppgave HiN, 2003
- [7] Prenøk-håndboken. Skarland Press
- [8] NS-EN 1264; *Gulvvarme. Systemer og komponenter*, 1. utgave 1998
- [9] Wirth, S.; *Eignet sich die Fußbodenheizung als Raumheizrichtung für Gebäude mit niedrigem Heizwärmebedarf?* Bauphysik 25, Heft 6, s. 367-371, 2003
- [10] Gundersen, P, Schild, Peter G.; *Low exergy ceiling heating/cooling systems for future buildings. Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Volume 1. p 506 – 513. Reykjavik 2005.*

