

Per Gundersen

Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Per Gundersen

Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg

Prosjektrapport 317 – 2002

Prosjektrapport 317
Per Gundersen
Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg
Undertittel Undertittel

Emneord: Varmeanlegg, gulvvarme, veggvarme, ventilasjon,
energi, oppvarming, vannbåren varme

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0754-7

100 eks. trykt av
S.E. Thoresen as
Innmat:100 g Kymultra
Omslag: 200 g Cyclus

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2002

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

Forord

Rapporten presenterer resultater fra forskningsprosjektet ”*Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg*” i regi av Norges forskningsråds NYTEK-program og NVEs byggoperatør.

Prosjektet er også finansielt støttet av Husbanken.

Arbeid med å utvikle nye frostsikre fundamentløsninger med lave varmetap uten kuldebro i randsonen er av stor betydning ved bruk av vannbåren gulvvarme og inngår også som delprosjekt i Byggforsk prosjektet ”Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner”, delprosjekt 7 ”Varmeisolering og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur”. Prosjektet ”El-konvertering i eksisterende småhus” støttet av NVEs byggoperatør gir mulighet for fullskala etterprøving av ulike typer vannbårne varmeanlegg.

NBIs deltagelse i IEA Annex 37 ”Low exergy systems for heating and cooling of buildings” er viktig for kunnskapsoverføring som kan utnyttes til å fremme utvikling av lavtemperatur varmeanlegg i Norge.

Som det fremgår av rapporten er hovedprosjektet koordinert med NBIs øvrige prosjektaktiviteter innenfor energiområdet. Arbeidet med å utvikle lavtemperatur varmeanlegg har vesentlig bestått i en kombinasjon av simuleringer, laboratoriemålinger og fullskala forsøksbygging.

Laboratoriemålinger er viktig for å kunne kalibrere simuleringer som grunnlag for å utvikle generelle dimensjoneringsverktøy. Fullskala forsøksbygging er nødvendig for å få oversikt over økonomi og praktiske forhold tilknyttet anlegg og drift.

Rapporten presenterer ulike løsninger for vannbårne lavtemperatur gulv-, vegg- og takvarmeanlegg. Lavtemperatur varme kan også benyttes til ettervarming av ventilasjonsluften for eksempel i kombinasjon med veggvarme. Alle løsninger kan benyttes både i ny og eksisterende bebyggelse. Det har generelt vært lagt stor vekt på å utvikle løsninger som sikrer god energieffektivitet og godt innklima. Erfaringer viser at tradisjonelle varmetrege varmeanlegg ofte fører til økt energiforbruk. Det har derfor blitt fokusert på vannbårne varmeanlegg som i tillegg til å kunne utnytte lave temperaturer, også har lav varmekapasitet og liten tidskonstant for oppvarming. Løsningene egner seg derfor godt i moderne boliger med beskjedent varmebehov og sterkt varierende varmepådrag fra sol, personer og utstyr. Enkelte løsninger er på skissestadiet og vil bli bearbeidet videre. Det tenkes da spesielt på det dynamiske samspillet mellom ventilasjon og varmeanlegg og energieffektive løsninger for fjerning av overskuddsvarme.

Av aktive samarbeidspartnere vil vi særlig trekke frem Rockwool AS, Aker Byggteknikk AS, SolarNor AS og Probata AS.

Dr. ing. Lars Myhre har bistått med gode råd og kvalitetssikret rapporten.

Oslo, januar 2002

Per Gundersen

Jørn T. Brunsell
Avdelingsjef

Innhold

FORORD	3
INNHold	5
SAMMENDRAG	6
1. INNLEDNING	7
2. TEMPERATURNIVÅ	8
3. VARMETAP FRA GULV PÅ GRUNNEN MED GULVVARME	9
4. EFFEKT- OG ENERGIBEHOV	11
5. GULVVARME	13
5.1 Lett gulvvarmeutførelse	13
5.2. Varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegg	15
6. ALTERNATIVE LØSNINGER	18
7. VEGGVARME	26
7.1. Innervegger som heteflate	26
7.2. Brystningsvegg som heteflate	30
8. TAKVARME	35
9. INDIVIDUELL TEMPERATURREGULERING	36
10. AVSLUTTENDE KOMMENTARER	39
11. REFERANSER	41

Sammenheng

Moderne, godt isolerte boliger har beskjedent varmebehov. Boligenes varmebalanse er derfor meget følsom for svingninger i varmetilskudd fra interne laster (personer, lys og utstyr) og passiv solvarme. God utnyttelse av disse variable varmekildene til oppvarmingsformål er en forutsetning for effektiv energiutnyttelse og stiller store krav til klima/varmeanleggenes temperaturregulering. Dette kan i prinsippet omfatte både oppvarming og avkjøling. Med avkjøling forstås i denne sammenheng mulighet for å fjerne overskuddsvarme, spesielt i forbindelse med tradisjonelle varmetrege gulvvarmeanlegg, uten å øke energiforbruket. Alternativt kan man bruke lette lavtemperatur gulvvarmeanlegg med liten varmekapasitet. Størst mulig energifleksibilitet forutsetter varmeanlegg som kan utnytte lave vanntemperaturer (≤ 30 °C) til oppvarmingsformål. Lave vanntemperaturer gir også lavere varmetap når heteflatene er plassert på klimaskjermen, mindre varmeavgivelse fra utstyr tilknyttet varmesentralen og reduserte problemene med overtemperaturer. Anlegget blir mer selvregulerende.

På grunn av stor andel varmestråling bør riktig utførte og regulerte lavtemperatur varmeanlegg være energieffektive idet man oppnår et godt inneklima med lavest mulig lufttemperatur. Erfaringer fra utførte lavtemperatur varmeanlegg i Sverige og Danmark, og da spesielt tradisjonelt utførte gulvvarmeanlegg med vannrør innstøpt i betong, viser imidlertid at dette ikke alltid er tilfellet. En økning i energiforbruket skyldes vanligvis en kombinasjon av store tilleggsvarmetap og dårlig temperaturregulering. Utnyttelse av lave vanntemperaturer krever store heteflater som bare kan oppnås ved å bruke deler av gulv-, vegg- og takarealer enkeltvis eller i kombinasjon. Varmebehovet vil avgjøre hvor store heteflater som er nødvendig. Lave vanntemperaturer kan også utnyttes til for- og ettervarming av ventilasjonsluften og dermed kompensere for ventilasjonstapet. Lavtemperatur varmeanlegg må derfor på en helt annen måte enn tradisjonelle punktvarmekilder integreres i bygningskonstruksjonen. Rapporten angir løsninger der vannbårne lavtemperatur varmeanlegg inngår som delelementer i bygningskonstruksjonen. Utførelser der gulv- og takvarmeanlegg er koblet sammen med lydisolasjonen av etasjeskillere og der veggvarmeanlegg inngår som del av tilleggsisolasjonen av klimaskjermen eller utnyttes til forvarming av tilluften. Varmeanleggene kan tilpasses nybygg og ved rehabilitering og elkonvertering av eldre bebyggelse. Det er også vist løsninger, og angitt varmeavgivelse som funksjon av vanntemperaturen, for lette og halvtunge gulvvarmeanlegg og veggvarmeanlegg. Ettervarming av ventilasjonsluften med lavtemperaturvarme krever store heteflater og kan samordnes med veggvarmeanlegg. Lette gulvvarmeanlegg, veggvarme og ettervarming av ventilasjonsluften kan karakteriseres som dynamiske varmeanlegg på linje med elektriske panelovner med kort responstid (tidskonstant for oppvarming ca. 15 min.). Dette betyr at forutsetningene er tilstede for en enkel, individuell og behovstyrt temperaturregulering basert på romtermostater. Man kan også koble sammen varmeanlegg med forskjellig oppvarmingskarakteristikker. Undersøkelser viser at man i oppholdsrom oppnår best komfort med en gulvtemperatur rundt 23 °C som ved en lufttemperatur på 20 °C tilsier en varmeavgivelse på ca. 30 W/m². Målinger viser at denne varmeavgivelsen kan oppnås for gulv- og veggvarme med en vanntemperatur på ca. 30 °C. Ved å utnytte deler av gulv- og veggarealet som heteflater bør dette være tilstrekkelig for å dekke varmebehovet både i ny og eksisterende bebyggelse. Tradisjonelle varmetrege gulvvarmeanlegg kan da stå for basisvarmen (komfortvarme), mens varmebalansen for øvrig opprettholdes ved hjelp av dynamiske varmeanlegg som veggvarme eller ettervarming av ventilasjonsluften. Rapporten angir en måte å fjerne eller nøytralisere overskuddsvarme fra varmetrege gulvvarmeanlegg. Overskuddsvarmen kan utnyttes til å forvarme tappevannet som slik at man unngår overoppheting og økt energiforbruk.

I spesielle tilfeller der bruksforholdene tilsier hurtig og betydelig varmetilskudd fra personer og utstyr (for eksempel skoler og barnehager), er det vist eksempel på hvordan man kan utnytte tunge gulv med gulvvarme som varmelager og til effektutjevning.

1. Innledning

Fremtidens varmeanlegg bør kunne utnytte ulike energikilder, være energieffektive og gi god komfort med lavest mulig lufttemperatur. Følgende generelle krav bør stilles til fremtidens vannbårne varmeanlegg:

- *Stor energifleksibilitet (lavt temperaturnivå gir større mulighet for å utnytte alternative fornybare energikilder)*
- *Energieffektivitet (lave tilleggsvarmetap i form av transmisjons- og ventilasjonstap og god temperaturkontroll)*
- *God komfort forutsetter homogene termiske forhold (stor strålingsandel, lav lufttemperatur, liten temperatursjiktning og liten strålingstemperaturasymmetri)*
- *Enkel drift og lang levetid*
- *Kostnadseffektive (varmeanleggene må integreres i bygningskonstruksjonen)*

Størst fleksibilitet og effektivitet oppnås når man i tillegg til å velge mellom forskjellige energikilder og energibærere, også har mulighet for energilagring og har varmeanlegg som kan utnytte meget lave vanntemperaturer (25 – 35 °C). Varmeanlegget skal tilpasses eksisterende boliger med relativt stort varmebehov og nye godt isolerte boliger med meget beskjedent varmebehov. Energieffektive varmeanlegg forutsetter mulighet for individuell temperaturregulering i de enkelte rom eller temperatursoner og at man samtidig kan utnytte tilskuddsvarme fra internlaster, personer og passiv sol.

For å begrense problemer med overoppheting, noe som kan være et problem i nye godt isolerte boliger, er det ønskelig hurtig å kunne nøytralisere varmeanlegget slik at det ikke bidrar ytterligere til å forsterke problemene. Dette stiller store krav til valg av styringsstrategi som må være tilpasset varmeanlegg og brukssituasjonen. Det finnes vannbårne varmeanlegg med ulike oppvarmingskarakteristikk. Man kan ha lette dynamiske gulv- og veggvarmeanlegg og systemer for ettervarming av tilluft med liten tidskonstant for oppvarming, og mer varmetrege gulvvarmeanlegg med stor varmekapasitet. Det er også mulig å kombinere forskjellige typer varmeanlegg og utnytte vannbårne varmeanlegg til å fjerne overskuddsvarme. Overskuddsvarme kan for eksempel utnyttes til å forvarme tappevannet som om våren kan holde en temperatur på 2 – 4 °C.

Rapporten belyser ulike typer lavtemperatur varmeanlegg og presenterer resultater fra målinger utført ved Norges byggforskningsinstitutt som ledd i et pågående arbeid med å utvikle energieffektive lavtemperatur varmeanlegg. Det vises forslag til effektiv temperaturregulering og etablering av vannbårne varmeanlegg i eksisterende bebyggelse.

2. Temperaturnivå

Figur 2.1 gir en oversikt over vannbårne varmeanleggs aktuelle temperaturnivå. Lavt temperaturnivå på turvannet forutsetter store heteflater. Større andel av romoppvarmingen vil da utgjøres av strålevarme. Dette vil kunne gi godt inneklima og energieffektiv romoppvarming. Forutsetning er godt isolerte vinduer for å unngå store kalde flater som skaper termisk innhomogenitet som må kompenseres med høyere lufttemperatur. For eldre bebyggelse kan det imidlertid være nødvendig å tilføre noe varme under vinduer for å kompensere for kaldras.

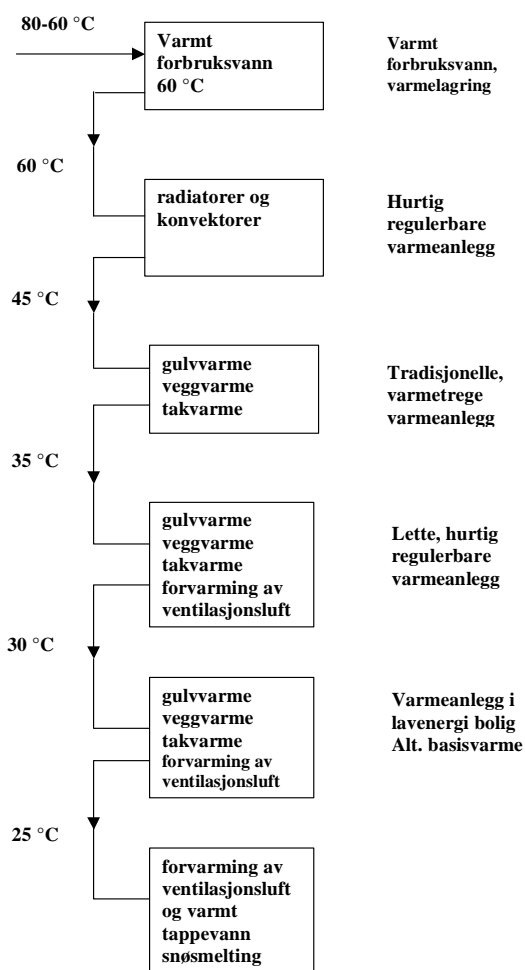


Fig. 2.1. Varmelegg og temperaturnivå

Ved anlegg av vannbåren varme er det derfor både energi- og inneklimamessige fordeler å velge strålevarmesystemer som primært varmeanlegg. Det kan bety varmelegg av typen gulv- vegg- og tildels takvarme. Om disse varmeleggene skal dekke hele varmebehovet eller bare tjene som en basisvarme, vil avhenge av varmeleggenes utførelse og bygningens varmebehov. Ved bruk av strålevarmeanlegg med store heteflater vil man generelt kunne holde noe lavere lufttemperatur. Dette vil resultere i et lavere ventilasjons- og infiltrasjonstap.

Punktvarmeanlegg av typen vedovner, radiatorer, etc. der en stor del av varmen avgis i form av konveksjon, kan gi betydelig vertikal temperatursjiktning i rommet. Varmen vil ligge under taket. Dette har også den ulempen at i en oppvarmingssituasjon vil gulvflaten være den siste flaten som blir varmet opp. Til tross for store effektpådrag vil det allikevel ta forholds lang tid før man har fått stasjonære forhold og et tilfredsstillende inneklima. For meget godt isolert rom vil denne temperatursjiktningen bli mindre avhengig av typen varmeanlegg. Også for strålevarmeanlegg vil heteflatene lokalt representere store flater med overtemperaturer. For å unngå at heteflatene fører til tilleggsvarmetap, må dette kompenseres ved økte isolasjonstykkelser hvis de er plassert på klimaskjermen. Alternativet er å plassere heteflatene i tilknytning til mellombjelkelag og innervegger. Et unntak er gulvvarme for gulv på grunnen der man ikke kan oppnå en ideell overflatetemperatur på gulvet om vinteren uten bruk av gulvvarme. Ideell overflatetemperatur på gulvet for personer med lett innendørs fottøy vil ligge rundt 23 °C (21-26 °C), se fig. 2.2, mens byggeforskriften bare sikrer en gjennomsnittlig gulvtemperatur som ligger ca. 0,5 °C lavere enn lufttemperaturen. I bygningens randsone kan gulvets overflatetemperatur bli betydelig lavere.

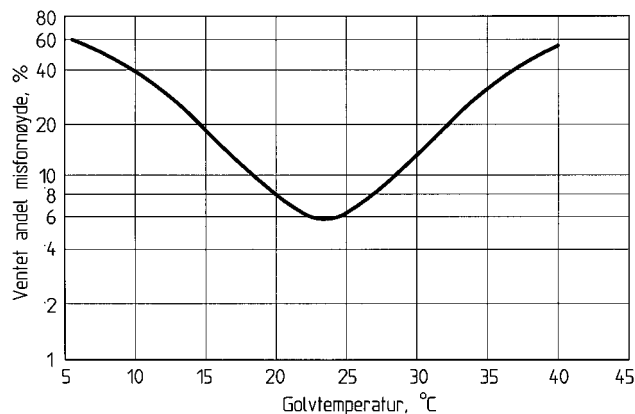


Fig. 2.2. Prosent misfornøyde som funksjon av gulvtemperaturen for mennesker med lett, innendørs fottøy. Det fremgår her at antallet misfornøyde er omtrent likt fordelt både når det gjelder over- og undertemperaturer rundt en middeltemperatur på ca. 23 °C.

3. Varmetap fra gulv på grunnen med gulvvarme

Da en betydelig del av varmen fra en gulv på grunnen eller kjellerløsning tapes fra en randsone på en meter mot ytterveggen, er det viktig å unngå kuldebro i dette området, se fig. 3.1. Det må derfor legges stor vekt på utformingen av fundamentet og overgangen mellom fundament og vegg. På grunn av undertrykk i denne sonen er det også viktig å sikre absolutt lufttetthet. Det å unngå kuldebro i randsonen er særlig viktig ved bruk av gulvvarme med høyere temperatur mot gulvisolasjonen og der turvannet normalt først tilføres randsonen.

I motsetning til elektriske gulvvarmeanlegg der effekten er jevnt fordelt over hele gulvflaten vil en kuldebro i et vannbåret gulvvarmeanlegg lett kunne føre til utilstrekkelig varmetilførsel med krav om høyere vanntemperaturer.

For lette bygninger er det i dag vanlig å bruke prefabrikkerte ringmurselementer. Disse består gjerne av en innvendig og utvendig isolasjonsvange i EPS-isolasjon bundet sammen med et tverrstykke også i EPS-isolasjon. Innvendig og utvendig isolasjonsvange har gjerne ulik tykkelse der utvendig isolasjon demper temperatursvingningene mens innvendig isolasjon sørger for kuldebrobrytningen. Ved å øke veggtykkelsen til 200 mm, som anbefales i ny byggeforskrift, er det vesentlig enklere å unngå kuldebro i randsonen og samtidig utnytte hele veggghøyden. Man kan også øke betongbredden i ringmurselementet og dermed sikre en bedre forankring og mindre

trykk mot grunnen eller markisolasjonen. I motsetning til tidligere utførelser der varmetapet fra konstruksjonen besørget frostsikringen, krever nye løsninger markisolasjon i telefarlig grunn, se fig. 3.1. Frostsikringen oppnås ved å utnytte jordvarmen og ikke ved å øke varmeavgivelsen fra fundamentet. Det er bare nødvendig å legge isolasjon under ringmurselementet i relativt kaldt klima (frostmengden $> 35\ 000\text{h}^\circ\text{C}$). Markisolasjonen vil også bidra noe til å redusere gulvets varmetap.

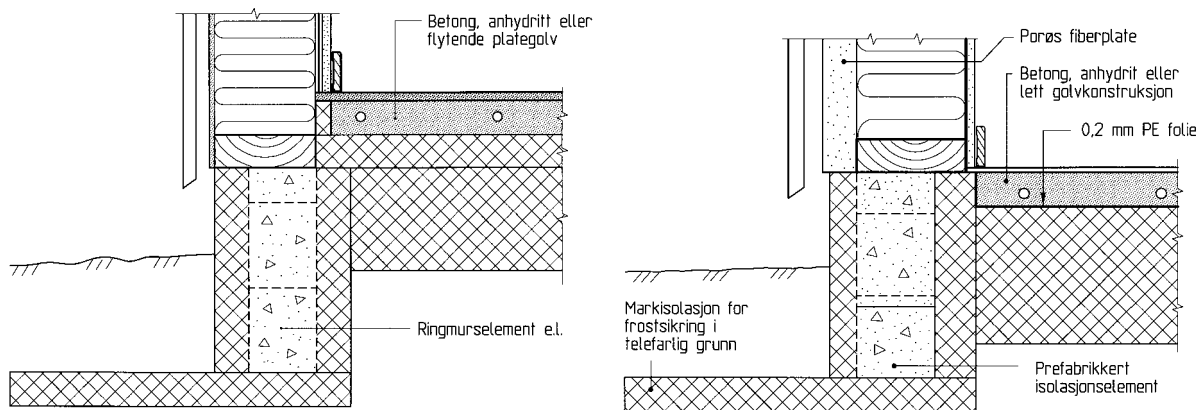


Fig. 3.1. Eksempel på prefabrikkerte ringmursløsninger for gulv på grunnen med og uten gulvvarme. Det er viktig å unngå kuldebro i randsonen. Ved å øke veggtykkelsen fra 150 til 200 mm kan man tilsvarende øke tykkelsen på innvendig isolasjonsvange som er viktig for en effektiv kuldebrobryting og kan dermed utnytte hele vegghøyden. Frostsikringen i telefarlig grunn ivaretas av markisolasjon.

Når heteflater plasseres på klimaskjermen, som for gulv på grunnen, er det viktig å redusere tilleggsvarmetapet til et minimum. Figur 3.2 viser spesifikt energitap fra gulv på grunnen under fyringssesongen med og uten gulvvarme som funksjon av isolasjonstykkelsen. Det er lagt til grunn Oslo klima med årsmiddeltemperatur $6,0\ ^\circ\text{C}$ og dimensjonerende frostmengde $25000\ \text{h}^\circ\text{C}$. Det er videre forutsatt en ringmursløsning med beskjedne kuldebro, fig 3,1 og grunnflate $100\ \text{m}^2$. For varmeanlegget i lavenergiboliger er det under dimensjonerende forhold forutsatt en høyeste gjennomsnittlige temperatur på varmfordelingslaget mot gulvisolasjonen på $30\ ^\circ\text{C}$, mens den for en mer normal utførelse er satt til $36\ ^\circ\text{C}$. Det er forutsatt en romtemperatur på $20\ ^\circ\text{C}$ og at turvannet til gulvvarmeanlegget er utetemperatur-kompensert. Boligen har en effektiv temperaturregulering som forutsetter at varmeanlegget bare er i bruk når det er et reelt oppvarmingsbehov. Spesielt alvorlig er der hvis gulvvarmeanlegget også er i drift utenfor fyringssesongen. Her vil gulvbeleggets beskaffenhet spille en stor rolle. Ved bruk av keramiske fliser el. vil gulv på grunnen føles kaldt uten varme som vil kunne bidra til å forlenge fyringssesongen.

Av fig. 3.2 fremgår det at vanntemperaturen har relativt stor innvirkning på energitapet. Det betyr igjen at varmemotstanden fra varmfordelingssjiktet med varmerørene til gulvoverflaten bør være så liten som mulig. I stedet for å øke den generelle isolasjonstykkelsen utover 200 mm, som er vanlig for boliger i dag uten gulvvarme ($U\text{-verdi } 0,15\ \text{W/m}^2\text{K}$), kan det være vel så effektivt å legge stor vekt på å unngå kuldebro i randsonen, se fig. 3.1.

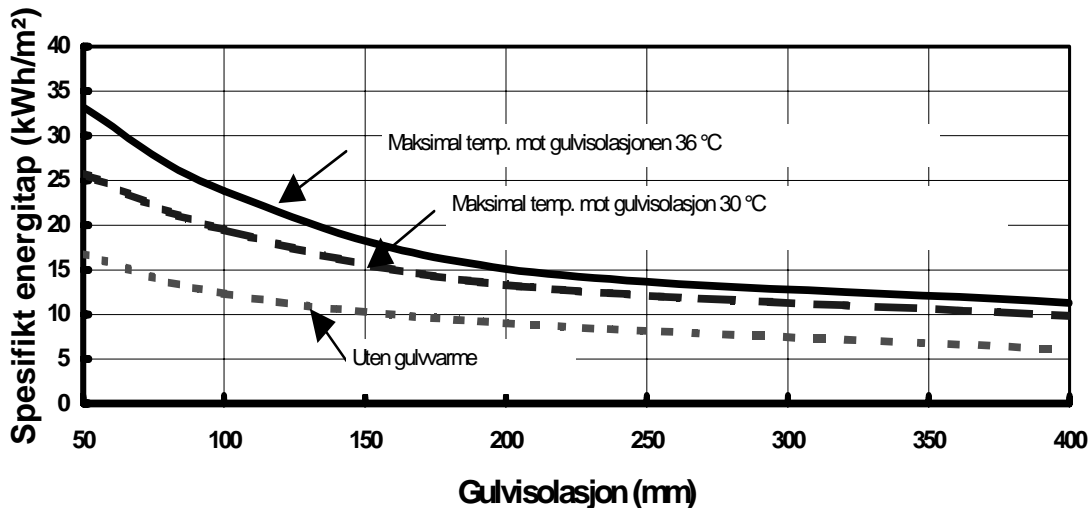


Fig. 3.2. Spesifikt energitap fra gulv på grunnen over fyringssesongen, beregnet med og uten gulvvarme med ulike temperaturnivå mot gulvisolasjonen. (Oslo klima)

4. Effekt- og energibehov

Som eksempel vises energi- og effektbehovet for to alternative utførelser av en enebolig (referansebolig) på 135 m² i Osloområdet. Det ene alternativet er isolert etter minstekravene i TF 97, og det andre er en lavenergiutførelse med noe forbedret varmeisolasjon, særlig for vinduer og vegger. Lavenergi boligen har i tillegg behovstyrt, balansert ventilasjon med varmegjenvinning, se tabell 1. Med behovstyrt ventilasjon er det forutsatt et noe lavere luftskifte (0,35 –0,4 luftvekslinger pr. time) gjennom ventilasjonssystemet når personer ikke er tilstede i boligen. I tillegg kommer luftskiftet på grunn av infiltrasjon som er uforandret.

Tabell.1. Aktuelle U-verdier og ventilasjonssystem for referansebolig

Bygningsdel	Ny byggeforskrift U-verdi (W/m ² K)	Lavenergi U-verdi (W/m ² K)
Vegg	0,22	0,18
Tak	0,15	0,15
Gulv	0,15	0,15
Vindu	1,6	1,2
Dører	1,6	1,0
Ventilasjon (0,5 luftvekslinger/h)	Mekanisk Avtrekksventilasjon	Balansert med varmegjenvinning
Temperaturvirkningsgrad (%)	0	70

Figur 4.1 viser eksempel på fordeling av energiforbruket på ulike forbruksområder. Bygningens orientering og utforming vil generelt ha stor betydning for utnyttelse av passiv solvarme og dermed boligens samlede energibehov.

Dimensjonering av varmeanleggene vil være avhengig av boligens planløsning. Man kan ha en mer åpen planløsning med tilnærmet full oppvarming i alle rommene, eller en mer lukket planløsning der man kan ha ulike temperaturer i de enkelte rom eller temperatursoner. Rent generelt er det en fordel å utstyre alle rom med egne varmeanlegg for å sikre individuell temperaturregulering. Figur 4.2 viser gjennomsnittlig effektbehov til romoppvarming for referanseboligen.

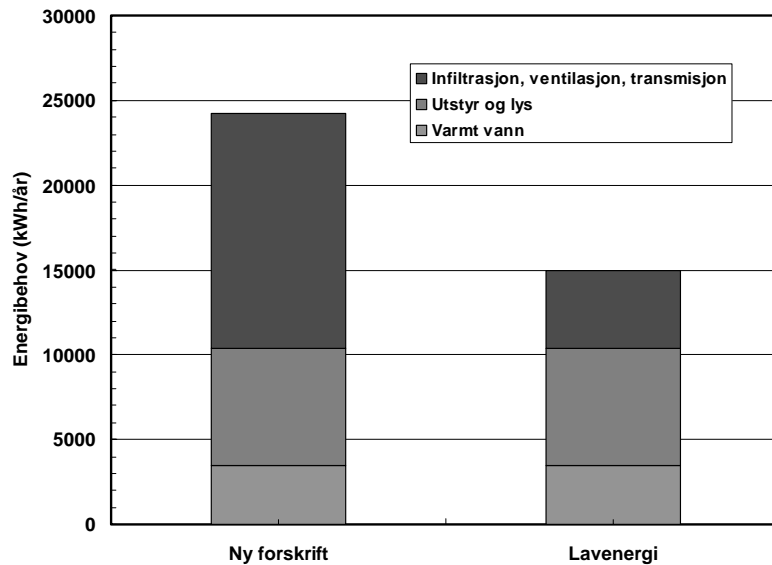


Fig. 4.1. Årlig energibehov for enebolig. (Referansebolig 138 m² og Oslo klima). En vesentlig del av internvarmen i form av personer, lys og utstyr utnyttes til å dekke boligens varmebehov

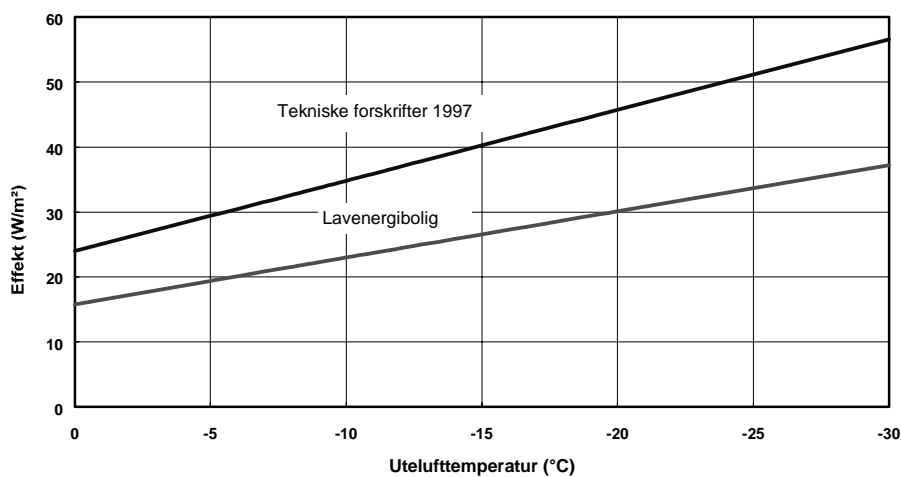


Fig. 4.2. Gjennomsnittlig spesifikt effektbehov til romoppvarming for referanseboligen (138 m² Oslo klima) som funksjon av utelufttemperaturen. Det er forutsatt en gjennomsnittlig innelufttemperatur på 22 °C.

Figur 4.3 viser samlet spesifikt effektbehov til oppvarming av referanseboligen en vanlig vinterdag med utelufttemperatur -5 °C.

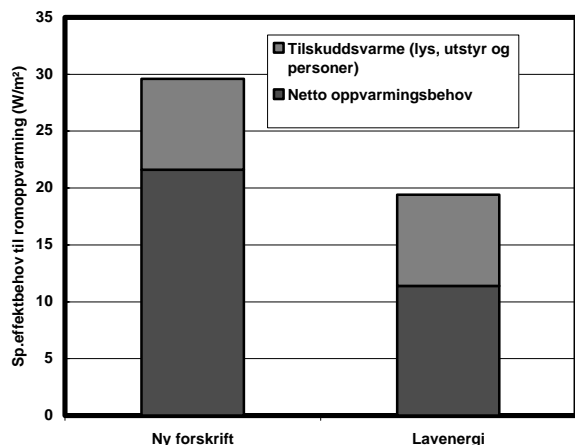


Fig. 4.3. Spesifikt effektbehov til oppvarming av referanseboligen (-5 °C). Tilskuddsvarme fra lys, utstyr og personer (NS 3031) dekker en betydelig del av dette effektbehovet.

Når det gjelder nødvendig varmetilskudd fra varmeanlegget for å opprettholde varmebalansen vil størrelsen på internlastene spille en vesentlig rolle. Det er nettopp store variasjoner i solinnfall og internlast som kan skape problemer for temperaturreguleringen. Gjennomsnittlig varmeeffekt fra lys, utstyr og personer vil kunne dekke ca. 30 % av lavenergiboligens varmebehov under dimensjonerende forhold og tilsvarende over 40 % under mer normale vinterforhold. I kortere perioder vil dekningsgraden i enkelte deler av boligen kunne bli vesentlig høyere. Dette viser at behovet for varme avgitt fra varmeanleggene i lette, godt isolerte boliger vil kunne svinge betydelig og stille store krav til temperaturreguleringen.

5. Gulvvarme

5.1 Lett gulvvarmeutførelse

God temperaturstyring for vannbårne lavtemperatur varmeanlegg kan oppnås ved å bruke en utførelse med liten varmetreghet, se fig. 5.1 , 5.3 og 5.4. Foruten gulv på grunnen er utførelsen godt egnet i mellombjelkelag med skjerpede krav til trinnlydisolasjon. De viste løsningene i mellombjelkelag tilfredsstiller nye krav til trinn- og luftlydisolasjon. En annen fordel med lette gulvvarmeanlegg er at det er relativt lett å komme til rørsystemet for reparasjon og utskiftning. Innstøpte vannrør i 100 mm tykke betonggulv er det vesentlig mer kostnadskrevenende å skifte ut.

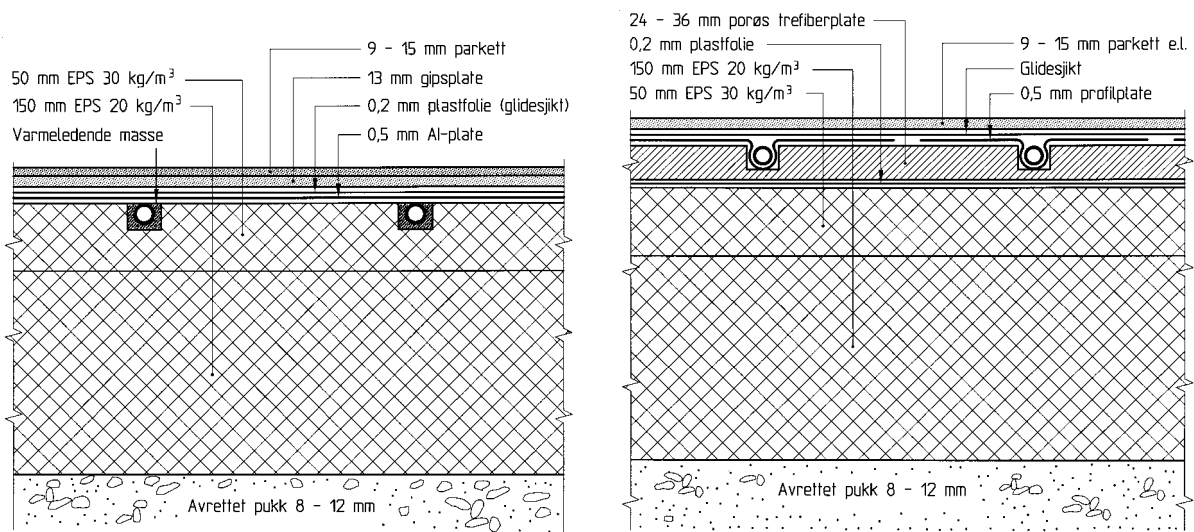


Fig. 5.1. Eksempel på lett utførelse av golv på grunnen med gulvvarme. Løsningen forutsetter bruk av aluminium varmefordelingsplater.

Det kan brukes ulike løsninger for å overføre varme fra varmerørene til varmefordelingsplatene. Da varmerørene normalt består av relativt varmeisolerende plastrør, er det viktig at størst mulig del av røroverflaten har god varmeledende kontakt med varmefordelingsplaten, se fig. 5.2.

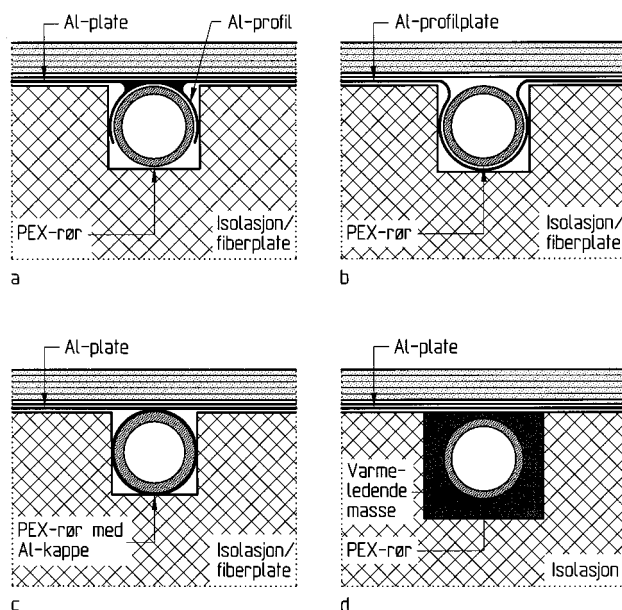


Fig 5.2. Alternative utførelser for varmeoverføring fra varmerør til aluminiumsplatene som har til oppgave å fordele varmen over gulvflaten. I tillegg til plastrør med Al-kjerne, finnes også plastrør med Al-kappe som vil kunne forbedre den varmeledende kontakten mellom rør og Al-plate. PEX-rør leveres med ulike godstykkelser. For lavtemperatur varmelegg bør man bruke rør med den minste godstykkelsen. Dette forbedrer varmeoverføringen og letter leggingen. Selvjevnende gulvavrettingsmasse av typen anhydritt med varmeledningsevne $1,9 \text{ W/mK}$ kan brukes som varmeledende masse rundt varmerør.



Fig. 5.3. Lett utførelse av gulv på grunnen med utlagte varmfordelingsplater for gulvvarmerør uten bruk av betong, fig. 5.1. Over varmfordelingsplatene legges glidesjikt (f.eks. plastfolie) deretter gipsplater og parkett.

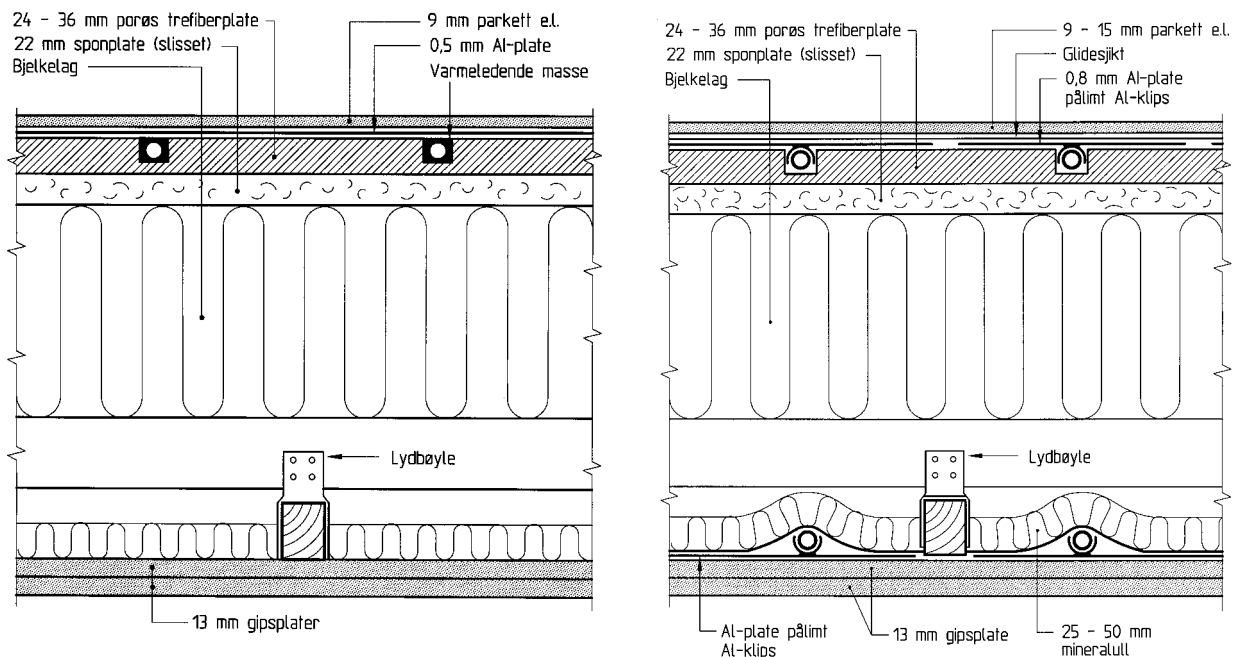


Fig. 5.4. Eksempel på lett gulvvarmeanlegg i mellombjelkelag. Konstruksjonen tilfredsstiller gjeldende krav til trinn- og luftlydisolasjon. Det er også vist et eksempel der man i tillegg har installert takvarme i mellombjelkelaget. Takvarme kan også enkelt installeres i horisontale himlinger mot kalde, luftede loft. Takisolasjonen bør da økes med 50 -100 mm for å unngå tilleggsvarmetap. Hvis man ønsker å opprettholde en U -verdi på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ betyr det en isolasjonstykkelse på 400 mm.

5.2. Varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegg

Figur 5.5 viser nominell varmeavgivelse fra et gulvvarmeanlegg. Varmen avgis fra gulvflaten omtrent jevnt fordelt ved stråling og konveksjon. Konveksjonen vil påvirkes av ventilasjon og plassering av kalde flater. Den nominelle varmeavgivelsen fra gulvflaten som er angitt i fig. 5.5

er brukt som referanseverdi i internasjonale standarder (EN 1264), og er noe større enn den varmeavgivelsen man ville hatt ved stråling og naturlig konveksjon.

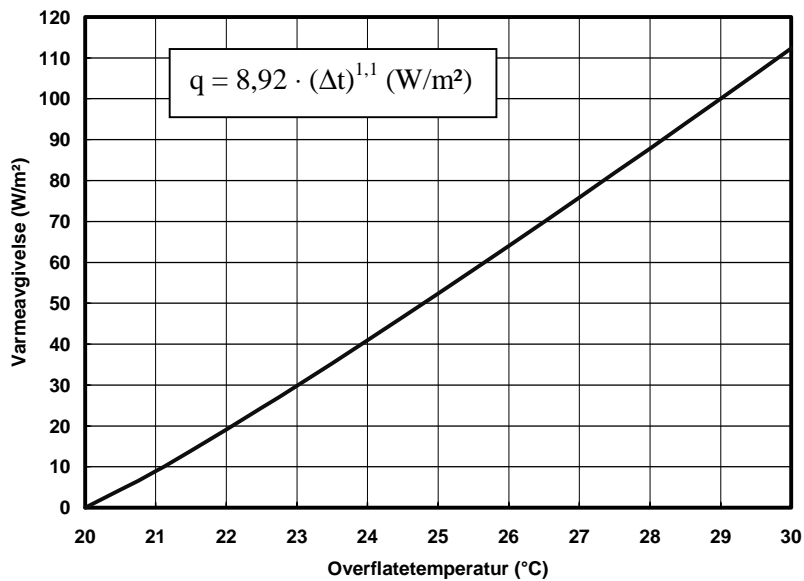


Fig. 5.5. Nominell varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegg som funksjon av gulvets overflatetemperatur. Romtemperaturen (operativ temperatur) er 20 °C. (EN 1264)

Figur 5.6 viser målt varmeavgivelse fra et lett gulvvarmeanlegg som funksjon av midlere vanntemperatur. Forskjellen mellom overflatetemperaturen på gulvet og midlere vanntemperatur vil med et varmebehov på 30 W/m² ligge på ca. 5,5 °C. Det betyr en midlere vanntemperatur i gulvvarmeanlegget på ca. 28,5 °C.

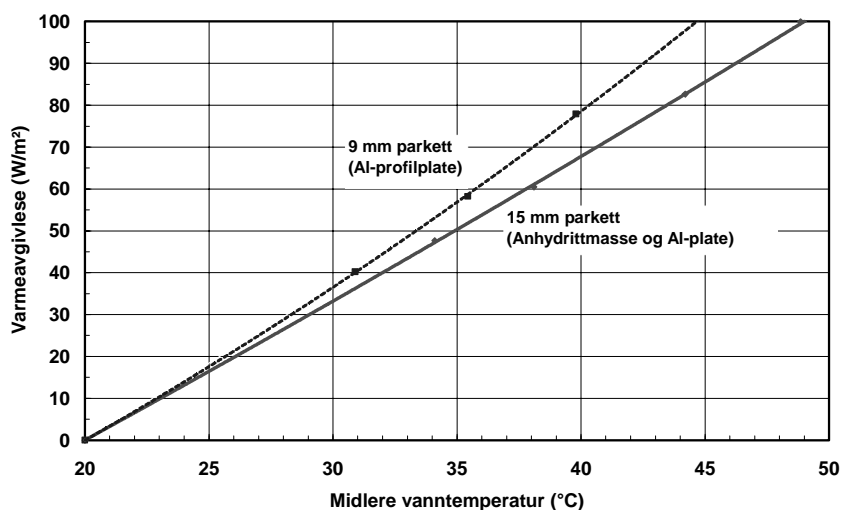


Fig. 5.6. Varmeavgivelse fra lette gulvvarmeanlegg fig. 5.1 og 5.4 som funksjon av midlere vanntemperatur. (Temperaturtap for vannet i varmerørene over gulvflaten ligger på 1-2 °C).

Figur 5.7 viser temperaturtapet fra vannrørene til gulvoverflaten for den lette gulvvarmeløsningen med 9 mm parkett som funksjon av spesifikk varmeavgivelse. Ved å øke rørdimensjonen, redusere godstykkelsen på plastrøret, bruke rør med Al-kappe og øke tykkelsen på varmfordelingsplatene, vil man for samme røravstand ytterligere kunne redusere dette temperaturtapet. Figuren viser også at alle temperaturdifferanser i varmeanlegget vil være

tilnærmet proporsjonal med varmeavgivelsen. Utnyttelse av lavest mulige vanntemperaturer forutsetter derfor et beskjedent varmebehov. Det bør derfor generelt legges stor vekt på bygningsmessige tiltak for å redusere varmebehovet. Alternativt er at gulvvarmeanlegget tjener som en komfort varmeanlegg som bidrar til å dekke boligens basisvarme.

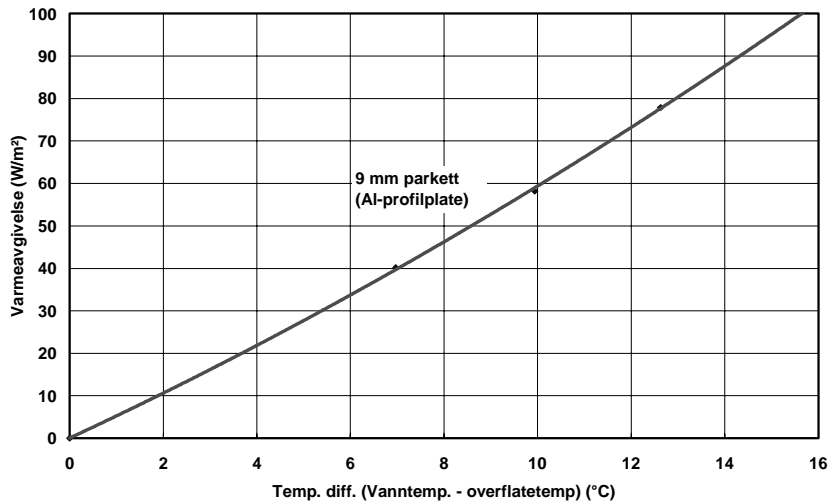


Fig. 5.7. Målt temperaturtap fra varmerør til gulvoverflate for lett gulvvarmeanlegg med 9mm parkett som overbygning over varmfordelingsplatene.

God varmeoverføring fra varmerør til gulvoverflaten, er avgjørende for å kunne utnytte lave vanntemperaturer. I tillegg til en effektiv varmeoverføring fra vannrøret til varmfordelingssjiktet er røravstand og materialvalget i gulvoppbyggingen viktige parametre. Varmemotstanden for materialene over varmfordelingssjiktet bør være så liten som mulig. Dette kan oppnås ved å sørge for at gulvets bærelag legges under varmfordelingssjiktet. Gulvbelegget over varmfordelingssjiktet, som for eksempel kan bestå av 7 mm flytende parkett, har da som viktigste oppgave å fordele og overføre punktlasten til bærelaget.

Det er av stor betydning for varmeavgivelsen at man har jevnest mulig varmfordeling over gulvoverflaten. Dette setter klare begrensninger når det gjelder røravstand som normalt vil ligge mellom 200 – 300 mm. Hvis deler av gulvflaten dekkes med golvtepper e.l., vil dette kunne ha stor betydning for varmeavgivelsen. Dette i motsetning til elektrisk gulvvarme der varmeavgivelsen fra varmekablene er konstant.

Hvis varmebehovet for eksempel er 50 W/m^2 , svarer dette til en temperatur på gulvoverflaten på ca. $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Ved å legge et 5 mm tykt teppe på gulvet, vil man ved bruk av elektriske varmekabler få samme varmeavgivelse. Samtidig har temperaturen på gulvoverflaten under teppet økt til $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Hvis man tilsvarende har et lett vannbårent gulvvarmeanlegg vil en varmeavgivelse på 50 W/m^2 kreve en vanntemperatur på ca. $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Gulvet har da 15 mm parkett over varmfordelingsplatene. Med 5 mm golvteppe vil temperaturen på gulvoverflaten under teppet øke fra 25 til $26,6 \text{ }^\circ\text{C}$, samtidig som varmeavgivelsen fra gulvet reduseres med hele 34 % til 33 W/m^2 .

Dette viser klart at det å legge teppe på gulvoverflaten ved bruk av vannbåren lavtemperaturvarme fører til betydelig reduksjon i varmeavgivelsen. Tilsvarende vil varme tilført med elektriske varmekabler føre til høye temperatur på gulvoverflaten under teppene som kan gi problemer med gulvbelegg av typen parkett el. Dette kan for øvrig forhindres ved bruk av

selvregulerende elektriske varmekabler der effekten avtar med temperaturen, golvtermostater eller ved å sette klare begrensninger på avgitt effekt fra varmekablene samtidig som man sikrer god varmfordeling fra kablene ved hjelp av Al-folie.

Figur 5.8 viser eksempel på oppvarmingsforløpet for en lett golvvarmeutførelse tilsvarende vist i fig. 5.1 og 5.4. Med bruk av relativt tynt gulvbelegg (f.eks. parkett 7 – 15 mm) over varmerørene, vil oppvarmingsperioden være beskjeden med en tilskonstant for oppvarming på ca. 15 min.. Man får samtidig, på grunn av store temperaturdifferanser og vannets store varmekapasitet, tilført gulvet en betydelig varmemengde ved oppstart av anlegget.

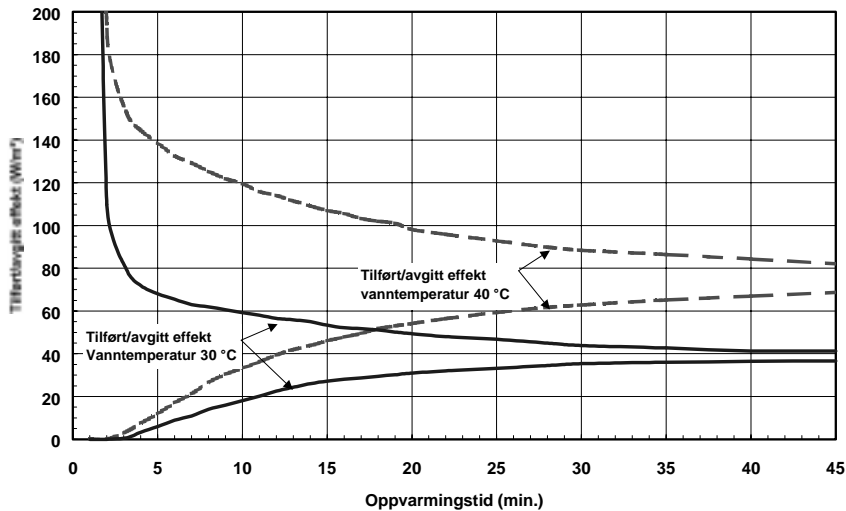


Fig. 5.8. Oppvarmingsforløp. Varmtvann med tilnærmet konstant temperatur tilføres fra varmelageret og avgis som varme fra gulvoverflaten, fig. 5.1 og 5.4. Røravstanden er 200 mm og 17 mm varmerør er lagt i 0,5 mm tykke profilformede varmfordelingsplater i aluminium. Overbygningen over varmfordelingssjiktet er 9 mm parkett.

6. Alternative løsninger

Den tradisjonelle metoden med golvvarme er å støpe rørene inn i betong, se fig. 6.1.

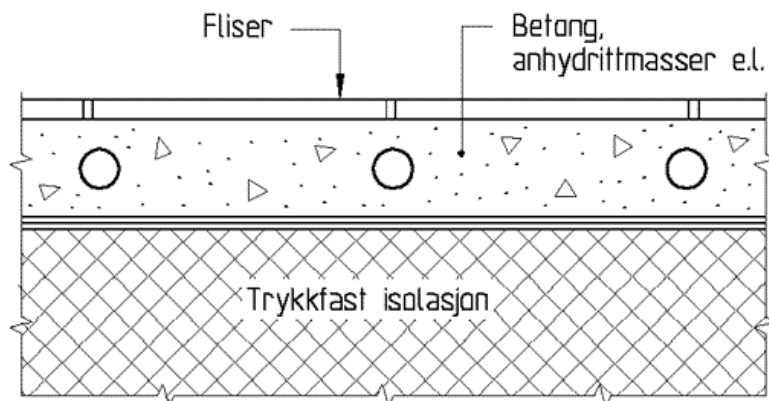


Fig. 6.1 Varmerør innstøpt i betong- eller anhydritt masser.

Løsningen er meget varmetreg, og egner seg godt i baderom med keramiske fliser der man gjerne ønsker en høy stasjonær gulvtemperatur. Keramiske fliser som gulvbelegg i oppholdsrom for gulv på grunnen, vil kunne gi økt energiforbruk i det man ofte ønsker noe varme på gulvet også utover fyringssesongen. Varmeavgivelse som funksjon av midlere vanntemperatur, for

isolerte betonggulv med keramiske fliser, kan avleses fra fig. 6.5. Det forutsettes stasjonære forhold, en midlere avstand mellom varmerørene på ca. 200 mm, og at varmetapet til underliggende rom eller grunnen er beskjedent. Figuren viser at denne løsningen er meget effektiv når det gjelder å kunne utnytte lave vanntemperaturer.

I godt isolerte hus med beskjedent varmebehov er det ofte ikke nødvendig med varme i hele gulvflaten. Man kan da anlegge gulvvarme i en sone langs yttervegger der man for eksempel kan bruke en løsning med betong eller anhydritt og keramiske fliser som sikrer god varmeovergang fra vann til overflate, se fig. 6.2. For øvrig står man fritt i materialvalg for det øvrige gulvet. Dette kan gjerne være et massivt tregulv, skipsgulv el. løsninger som er mindre egnet i kombinasjon med lavtemperatur gulvvarmeanlegget. Forutsetningen for å kunne bruke denne løsningen er en godt isolert randzone uten kuldebro. Ved å konsentrere varmetilførselen i en randzone mot yttervegger vil man også til en viss grad kunne forhindre kaldras fra høye vinduer som går helt ned til gulvet. Ved større varmebehov kan man supplere gulvvarmeanlegget med veggvarme fortrinnsvis plassert på innervegger. Løsningen med å anlegge gulvvarme i randsonen er også godt egnet ved anlegg av vannbåren varme i eksisterende bebyggelse der man ønsker å bevare deler av gulvbelegget.

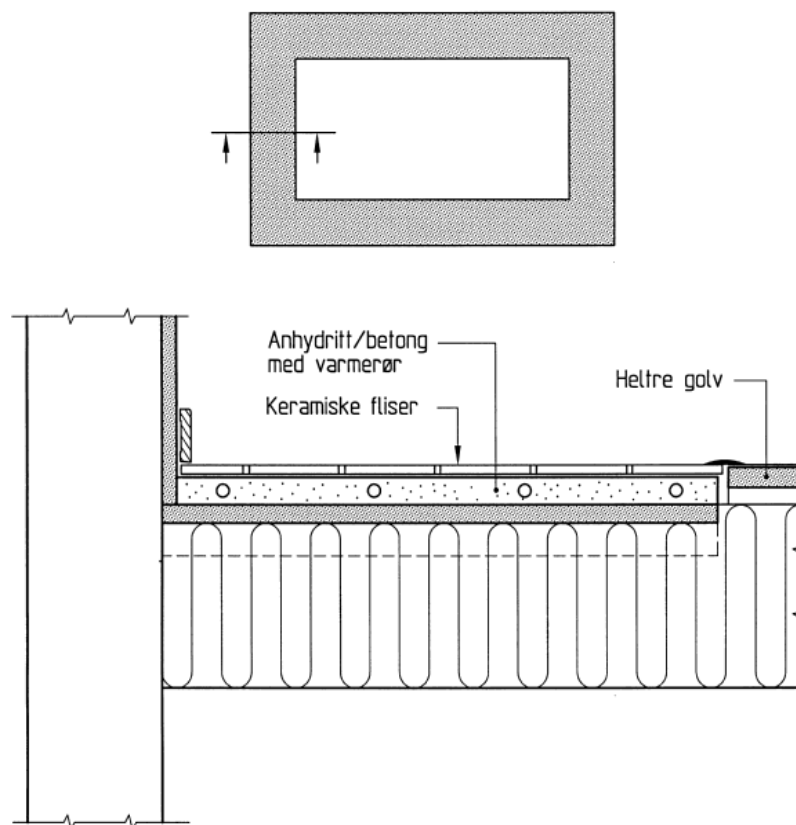


Fig. 6.2. Det er brukt vannbåren gulvvarme i en randzone mot yttervegger.

I oppholdsrom er det vanlig å støpe varmerørene i betong med parkett som gulvbelegg over betongdekket. Denne løsningen vil imidlertid gjøre gulvvarmeanlegget mer varmetregt. Med mindre man har en lavenergibolig med et meget beskjedent varmebehov, kan det oppstå problemer med temperaturreguleringen når et varmetregt gulvvarmeanlegg er eneste varmekilde. Varmeanlegget kommer lett ut av fase med varmebehovet. Utilfredsstillende temperaturregulering gir dårlig inneklima og økt energiforbruk.

En måte å unngå problemer som kan oppstå med varmetrege gulvvarmeanlegg er å bruke gulvvarmeanlegget som et basis og komfort varmeanlegg og supplere med andre mer dynamiske varmeanlegg. Man utnytter dermed gulvets varmetreghet for å oppnå selvregulerende egenskaper. Konstruksjonen vil også kunne tjene som et lokalt varmelager som kan avgi betydelig varme også etter at anlegget er slått av, se fig. 6.3. Dette kan utnyttes i visse tilfeller når bruksforholdene fører til at det over kort tid blir tilført betydelige intern-varme, for eksempel klasserom, barnehager, el. Man kan da lade opp varmelageret om natten som så avgis som varme om dagen, supplert med ulike former for internvarme, og dermed sikre tilfredsstillende gulvtemperaturer og innklima.

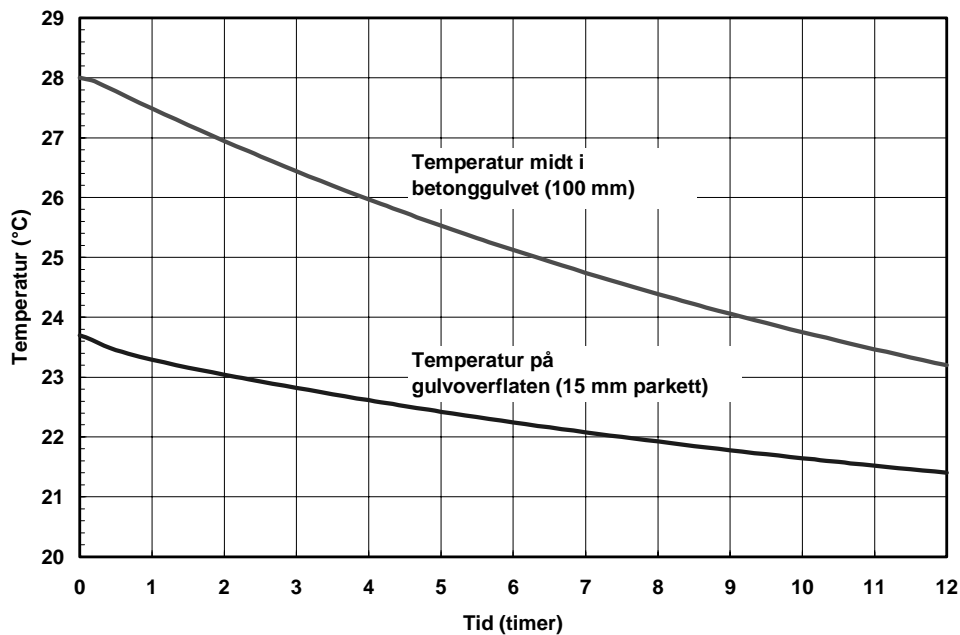


Fig. 6.3. Temperatur på gulvoverflaten 15 mm parkett, etter at gulvvarmeanlegget er slått av. Varme avgis fra betonggulvet som har en tykkelse på 100 mm. Romtemperaturen er forutsatt opprettholdt på 20 °C med tilskudd av internvarme i form av personer, utstyr el.

Et problem med å bruke betonggulv er, foruten lang uttørringstid, at varmeledningsevnen endres ved uttørring. Fuktig betong har varmeledningsevnen 1,7 W/mK, mens tørr betong får redusert varmeledningsevnen til 1,2 W/mK. Dette må kompenseres med høyere vanntemperatur for å opprettholde samme varmeavgivelse. Dette kan skape problemer i et lavtemperaturanlegg med begrensede muligheter for å øke vanntemperaturen. For å unngå disse problemene kan man bruke alternative materialer med høyere og mer stabil varmeledningsevne enn betong.

Et alternativt materiale til betong er for eksempel naturanhydritt (A-Plan 430) i form av selvjevne gulvavrettingsmasse som har varmeledningsevne 1,9 W/mK, se fig. 6.4. Ved å feste varmerørene til et armeringsnett eller med kramper til underlaget er det vesentlig enklere å legge ut rørene i det man ikke er bundet opp av et stivt sporsystem. Det finnes også ulike typer knotteplater der man kan velge alternative leggemønstre. Man står dermed friere til å velge et egnet leggemønster og kan utnytte hele gulvflaten som heteflate. For å sikre at varmeanlegget ikke blir for varmetregt, bør tykkelsen på anhydrittmassen være så liten som mulig. En tykkelse på ca. 30 mm vil kunne være tilstrekkelig for rørdimensjoner opp mot 17 mm. Dette vil også forkorte herdetiden som normalt ligger i størrelsesorden en uke pr. utstøpt 10 mm. Røravstanden bør ikke overstige 200 mm. Varmefordelingen og dermed varmeavgivelsen fra gulvflaten kan

ytterligere forbedres ved å legge et Al-belagt glidesjikt under den flytende parketten. Al-tykkelsen bør minst være 0,1 mm.

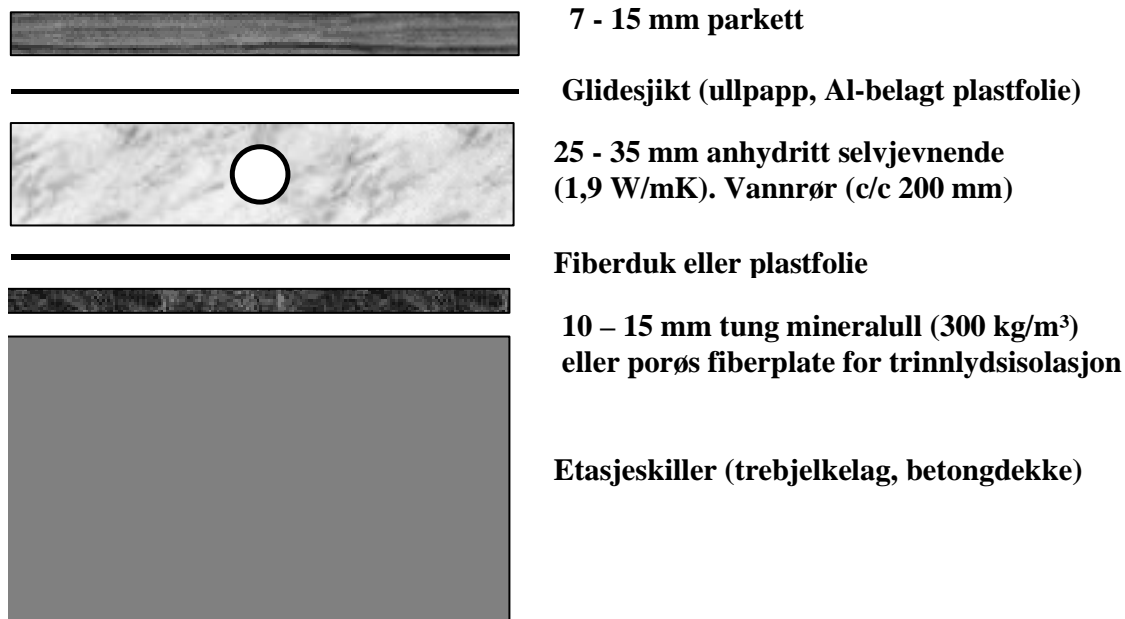


Fig. 6.4. Varmerør innstøpt i selvsjvnevende anhydrittmasse (A-PLan). Anhydrittmassen tjener da både som lastfordelingsplate og sørger for varmfordelingen. Varmefordelingen kan forbedres ved å bruke en Al-belagt plastfolie. Al-tykkelsen bør da minst være 0,1 mm.

Figur 6.4 viser en løsning med varmerør i selvsjvnevende naturanhydritt gulvavrettingsmasse i et mellombjelkelag. Under anhydrittmassen er det brukt 10 – 15 mm tung mineralull for trinnlydisolasjon. Løsningen er spesielt gunstig for å dempe trinnlyd og vil også ha gode egenskaper når det gjelder luftlydisolasjon. Løsningen kan brukes for gulv på grunnen og i mellombjelkelag både for nybygg og ved rehabilitering av eldre bebyggelse der man ønsker å etablere et vannbårent varmeanlegg. En stor fordel med å bruke selvsjvnevende gulvavrettingsmasse er at underlaget ikke behøver å være helt plant. Dette i motsetning til lette, tørre gulvvarmeløsninger som forutsetter helt plane underlag for å unngå problemer med støy og lokal svikt/nedbøyning.

Hvis mellombjelkelaget er et uisolert betongdekke vil noe av varmen fra varmerørene avgis nedover til betongen. Med et oppvarmet rom under vil dette ikke være varme som tapes, men lagres i betongmassen. For å sikre at en vesentlig del av varmen avgis oppover, hvilket er spesielt viktig i en oppvarmingsfase, bør man bruke en isolasjonstykkelse under anhydrittmassen som fører til at minst 80 – 90 % av tilført varme fra varmerørene avgis oppover. Med bruk av 7 mm parkett betyr det minimum 15 mm tykk mineralullisolasjon under anhydrittmassen. Ved å redusere varmeavgivelsen nedover vil man få en jevnere temperaturfordeling på gulvoverflaten og dermed få økt varmeavgivelsen fra gulvoverflaten.

Figur 6.5 viser samlet spesifikk varmeavgivelse fra en gulvkonstruksjonen vist på fig. 6.4 som funksjon av midlere vanntemperatur. Det er brukt 14 mm PEX-rør med godstykkelse 1,5 mm og senteravstand 200 mm. Anhydrittmassen (A-Plan 430) er ca. 35 mm tykk. Som topplag er det benyttet 7 mm parkett og tykkelsen på mineralullisolasjonen 15 mm. Under isolasjonen er det et massivt betonggulv. Det fremgår av fig. 6.5 at varmeavgivelsen fra varmerørene er ca. 30 W/m²

med en gjennomsnittlig vanntemperatur på vel 27 °C. Økes vanntemperaturen til 32 °C vil varmeavgivelsen fra varmerørene ligge på 52 W/m² eller 10,4 W/m rør med en senteravstand på 200 mm. Dette viser at gulvkonstruksjonen er termisk effektiv og kan utnytte meget lave vanntemperaturer.

Da PEX-materialet i varmerørene har relativt lav varmeledningsevne (0,36 W/mK), er det varmeteknisk en fordel å redusere rørenes godstykkelse. Med en varmeavgivelse på 40 W/m² og røravstand 200 mm vil varmeavgivelsen fra røret ligge på 8 W/m. Ved å redusere godstykkelsen med 0,5 mm fra 2,0 til 1,5 mm reduseres temperaturtapet gjennom rørveggen for et 14 mm rør med ca. 0,5 °C. Dette under forutsetning at røret er helt dekket av gulvavrettingsmasse. Ved bruk av varmfordelingsplater som bare har kontakt med deler av røroverflaten, vil temperaturtapet kunne være betydelig større. På grunn av lave trykk og temperaturer vil denne reduksjonen av rørets godstykkelse ha ingen praktisk betydning for rørets levetid.

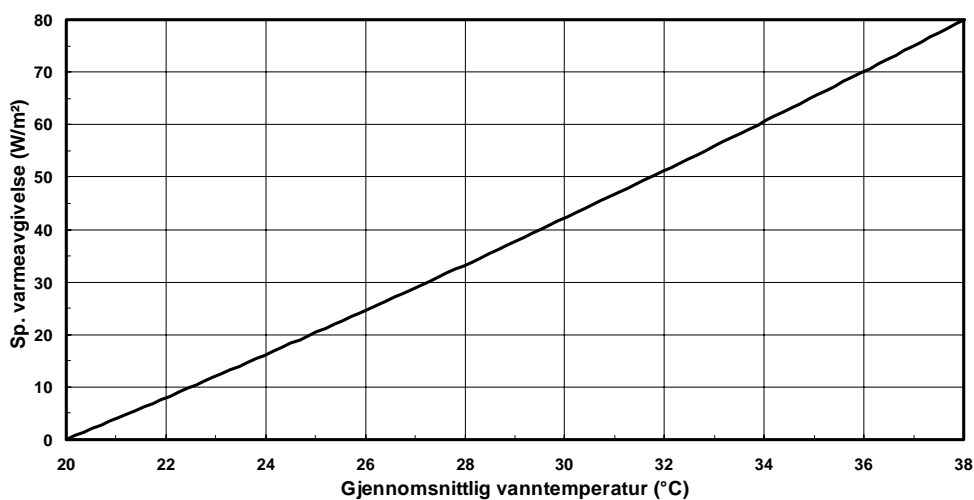


Fig. 6.5. Spesifikk varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegget vist på fig. 6.4. Det er ikke brukt Al-belagt plastfolie over anhydritmassen (A-Plan 430). Det er brukt 14x1,5 mm PEX-rør c/c 200 mm, 35 mm anhydritmasse og 7 mm parkett. Romtemperaturen er 20 °C. Ved bruk av 15 mm mineralull over uisolert betongdekke vil ca. 15 % av varmeavgivelsen i en oppvarmingsfase utnyttes til å varme opp betongen. Man får dermed tilsvarende reduksjon i gulvets varmeavgivelse. Dimensjoneringskurven kan også brukes for varmerør i betonggulv med keramiske fliser.

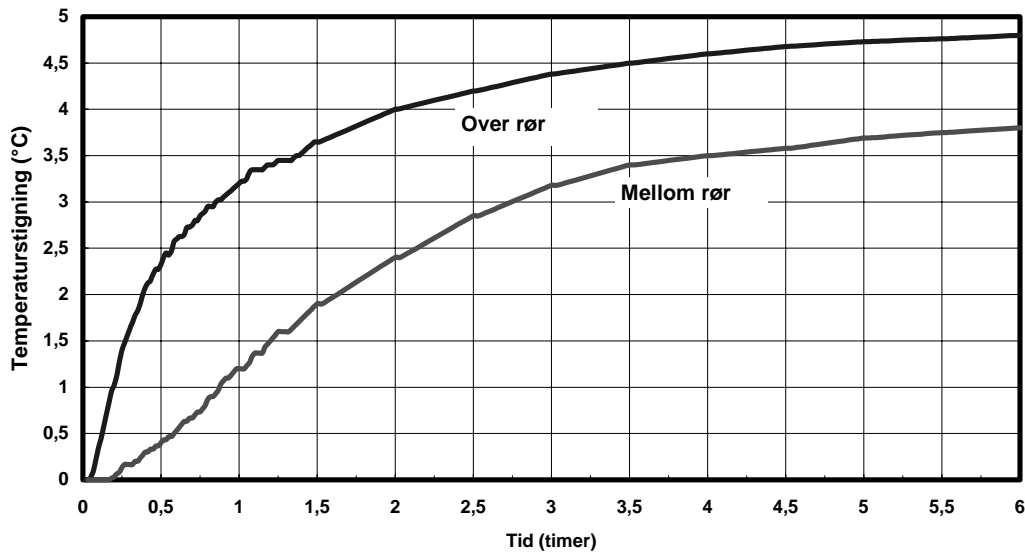


Fig. 6.6. Oppvarmingsforløp for gulvvarmeanlegg i etasjeskiller, fig. 6.4 med 35 mm anhydritmasse og 15 mm trinnlydisolering over massivt betongdekke. Romtemperaturen er 20 °C og gjennomsnittlig vanntemperatur 32 °C. Under stasjonære forhold vil maksimal temperaturdifferanse på gulvoverflaten over og mellom varmerør er ca. 1,0 °C.

Figur 6.5 viser at man med en vanntemperatur på 32 °C får en samlet varmeavgivelse fra varmerørene på 52 W/m². Det fremgår av fig. 6.6 at etter 6 timers oppvarmingsforløp vil gulvoverflaten avgi ca. 45 W/m². Resterende varmeavgivelse på 7 W/m² utnyttes til å varme opp betongdekket. Største temperaturdifferanse på gulvoverflaten under tilnærmet stasjonære forhold er ca. 1,0 °C. I et isolert trebjelkelag, eller ved å bruke en plastbelagt Al-folie eller parkettunderlag med Al-folie over anhydritmassen, vil temperaturfordelingen på gulvoverflaten forbedres og dermed øke gulvets varmeavgivelse. Bruk av Al-belagt glidesjikt vil sikre en jevnere og hurtigere oppvarming av parketten. Dette er spesielt viktig for å unngå skader på parketten under en forseringsperiode med store temperaturdifferanser.

Ved å bruke et termovisjonskamera kan man enkelt kontrollere at varmfordelingen og varmeavgivelsen er i overensstemmelse med forutsetningene, se fig. 6.7.

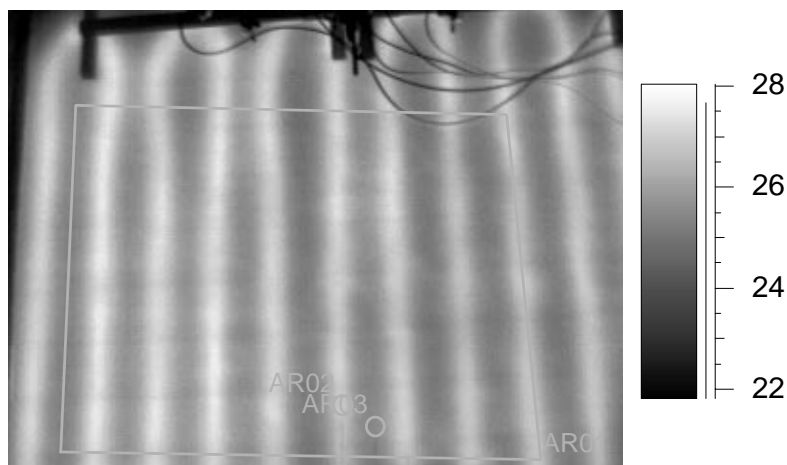


Fig. 6.7. Utsnitt av gulvoverflaten for gulvvarmeanlegget, fig. 6.4, fotografert med et termovisjonskamera. Det er her mulig å avlese temperaturer på gulvoverflaten og fastlegge gjennomsnittstemperaturen over et utsnitt av gulvflaten. Absolutte temperaturer bør kontrolleres med kontakttermometer e.l.

Figur 6.8 viser tilført varme fra varmerørene og avgitt varme fra den aktuelle gulvvarmekonstruksjonen, fig 6.4. Det fremgår her at gulvvarmeanleggets tidskonstant for oppvarming ligger på ca. en og en halv time. Samtidig fremgår det av fig. 6.6 at oppvarming av gulvoverflaten umiddelbart over varmerøret starter meget hurtig etter en dødtid et par minutter. Under en oppvarmingsfase vil maksimal temperaturdifferanse på gulvoverflaten ikke overstiger $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ved bruk av selvjevnende selvavrettingsmasser med lavere varmeledningsevne enn naturanhydritt (A-Plan) vil denne temperturforskjellen kunne bli vesentlig større. Dette kan være uheldig for parketten og bør kompenseres ved å redusere røravstanden eller bruke et varmefordelende Al-sjikt.

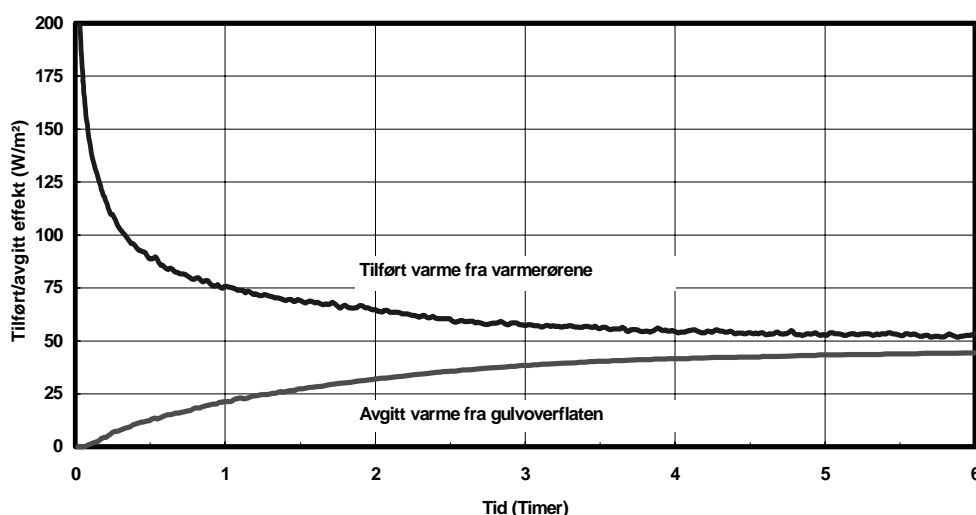


Fig. 6.8. Tilført varme fra varmerørene og avgitt varme fra gulvoverflaten. Det er brukt samme gulvutførelse som angitt i fig 6.4. med 15 mm tunge mineralullmatter under 35 mm anhydritt (A-Plan 430) og 7 mm parkett. Gulvkonstruksjonen ligger på et massivt betongdekket. Romtemperatur er $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ og gjennomsnittlig vannetemperatur er $32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vel 15 % av varmeavgivelsen fra varmerørene utnyttes til å varme opp betongdekket. Gulvvarmeanleggets tidskonstant for oppvarming ligger på ca. 1,5 time.

Figur 6.9 viser en utførelse med en lett, tørr gulvvarmeløsning over et betonggulv. Dette er en gulvoppbygging og varmeanlegg med helt spesielle egenskaper. Gulvvarmeanlegget er lite varmetregt, samtidig som noe varme overføres til betonggulvet og vil her bygge opp et varmelager. I det aktuelle tilfellet fig. 6.9 med bruk av 36 mm tykke trefiberplater, 15 mm parkett og med en temperatur på gulvoverflaten på 24 °C, vil betonggulvet fullt oppladet holde en gjennomsnittlig temperatur på ca. 26 °C. Dette forutsetter at tykkelsen på gulvisolasjonen for et gulv på grunnen er 200 mm. Oppladningstiden for betonggulvet vil ta noen døgn avhengig av tykkelsen.

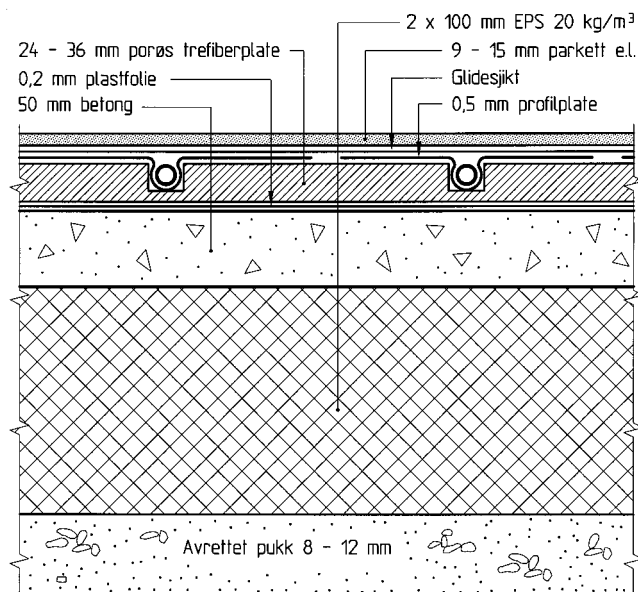


Fig. 6.9. Lett gulvvarmeanlegg over godt isolert betonggulv.

Figur 6.10 viser varmeavgivelsen fra gulvoverflaten avgitt fra betonggulvet med tykkelse 100 mm, fig. 6.9, etter at varmeanlegget er slått av. Det går frem av fig. 6.10 at utførelsen er lite varmetreg. Gulvvarmeanlegget med underliggende varmelager i betong kan derimot opprettholde noe høyere gulvtemperatur over en relativt lang periode med avslått gulvvarmeanlegg. Forutsetningen er imidlertid at betonggulvet er tilfredsstillende isolert mot undergrunnen. For en lett gulvvarmeutførelse uten underliggende betong, vil gulvtemperaturen med avslått gulvvarmeanlegg i det aktuelle eksemplet falle under romtemperaturen etter en periode på ca. 6 timer. Det forutsettes da at avgitt internvarme kan opprettholde en romtemperatur på 20 °C under avkjølingsperioden. For dårligere isolerte gulv vil avkjølingsperioden bli vesentlig kortere samtidig vil gulvtemperaturen bli betydelig lavere. Figur 6.10 viser også at et lav temperatur gulvvarmeanlegg med liten varmekapasitet bare i liten grad vil bidra til å forsterke et overtemperaturproblem.

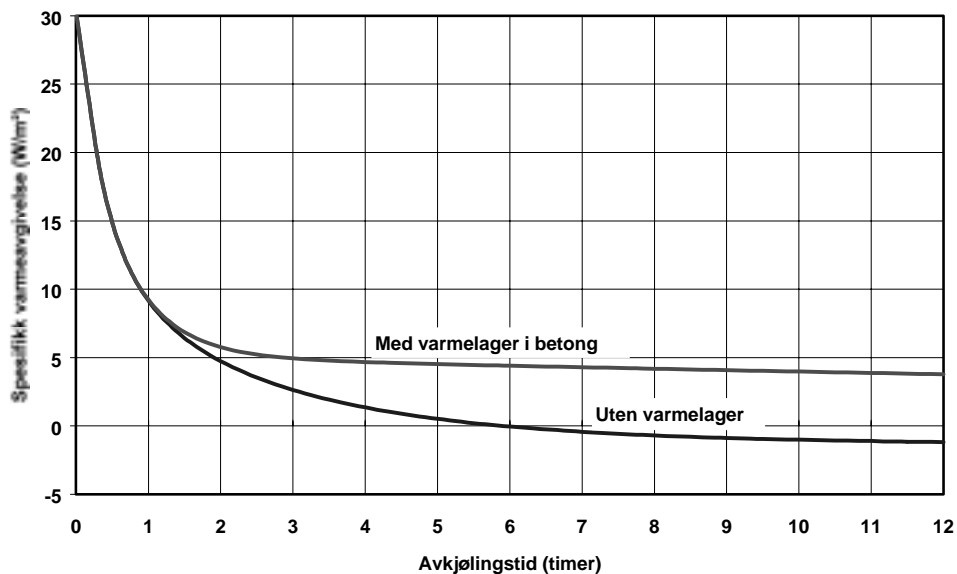


Fig. 6.10. Varmeavgivelse fra gulvoverflaten etter at varmeanlegget er slått av. Varmeavgivelsen er gitt for et lett gulvvarmeanlegg, fig. 6.9, med og uten underliggende 100 mm tykt betonggulv. Romtemperaturen under avkjølingsperioden er forutsatt konstant 20 °C .

7. Veggvarme

7.1. Innervegger som heteflate

Både i nybygg og ved rehabilitering av eldre bebyggelse kan det være aktuelt å bruke hele eller deler av en veggflate som heteflate. Undersøkelser utført i Nederland med veggvarmeanlegg indikerer at bruk av lavtemperatur veggvarme vurderes komfortmessig på linje med gulvvarme [6]. For å unngå tilleggsvarmetap og samtidig kunne utnytte varme avgitt fra begge sider av veggen, vil det være mest aktuelt å bruke innervegger som heteflate, se fig. 7.1.1. Hvis yttervegger skal utføres med veggvarme kreves tilleggsisolasjon for å kompensere for økt varmetap. Varmetapet kan reduseres ved å legge en varmereflekterende dampsperre, der den ene siden er belagt med aluminium, på kald side i hulrommet mellom varmefordelingssjiktet og tilleggsisolasjonen. Hulrommet bør da være uventilert. Løsningen med veggvarme er interessant i eksisterende bebyggelse der det samtidig er behov for tilleggsisolering av ytterveggene og der denne tilleggsisoleringen foretas innvendig.

Den konvektive varmeoverføringen fra en vegg er avhengig av veggghøyden og normalt være noe lavere enn et for et tilsvarende gulvvarmeanlegg, se fig. 7.1.2.



Fig. 7.1.1. Veggvarmeanlegg der vannrørene er festet til Al-klips som er limt til en Al-plate. Varmerørene vil da ligge bak varmfordelingsplatene. Dette kompliserer leggingen ved ettermontering av veggvarmeanlegget, men gir rørene en viss beskyttelse mot skader og gjør at Al-platene kan dekke deler av rørøyene. Alternativt kan man bruke Al-profilplater der varmerørene legges på plass etter at varmfordelingsplatene er montert. Som for gulvvarmeanlegg er det viktig å velge et rørmønster der man unngår rørskjøter.

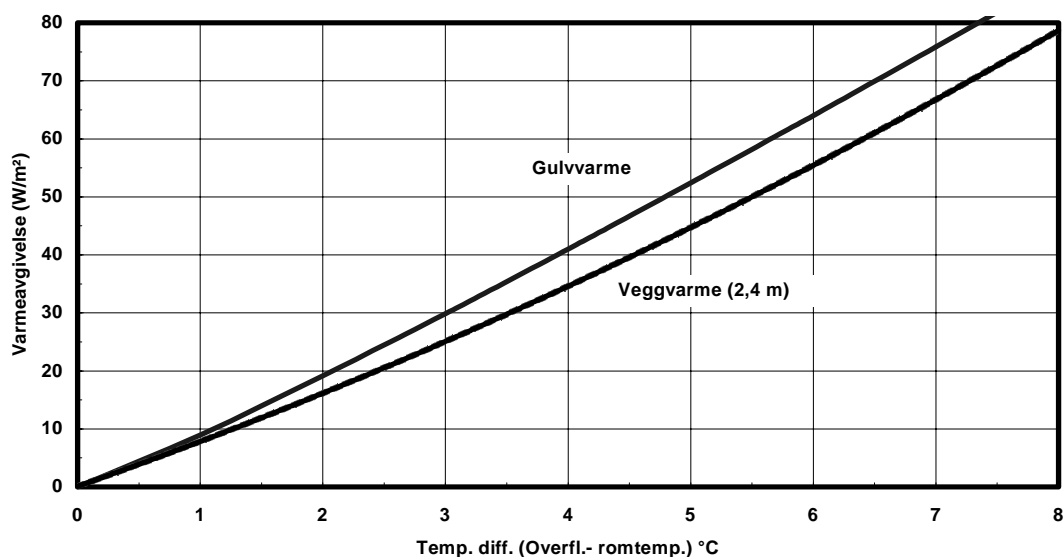


Fig. 7.1.2. Varmeavgivelse gulv- og veggvarmeanlegg (vegg høyde 2,4 m.) Varmeavgivelsen fra veggvarmeanlegget er basert på målinger.

Overflatetemperaturen på veggen er som for gulvet avhengig av materialene som brukes over varmfordelingsnettverket. Ved å bruke veggmaterialer med liten varmemotstand vil man kunne øke veggens overflatetemperatur, og dermed også strålingsandelen, noe som er gunstig for å kunne holde lavest mulig romlufttemperatur. Man vil stå noe friere i materialvalg og oppbygging av innervegger i forhold til gulv som skal oppfylle flere funksjoner. Figur 7.1.3. viser at for samme vanntemperatur vil spesifikk varmeavgivelse fra en 2,4 m høy innervegg med 13 gipsplater på begge sider være omtrent den samme som for et lett gulvvarmeanlegg med 15 mm parkett over varmfordelingsplatene. Innerveggen vil avgi varme til rom på begge sider av veggen. Ved et

bevisst materialvalg i veggkonstruksjonen er det mulig å kompensere noe for en dårligere konvektiv varmeavgivelse fra veggen uten å måtte øke vanntemperaturen.

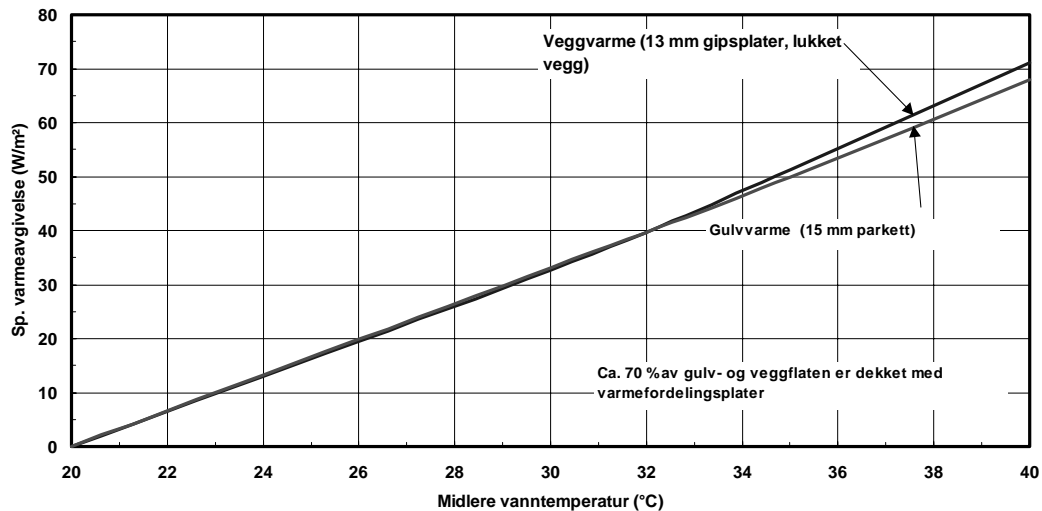


Fig. 7.1.3. Spesifikk varmeavgivelse fra et vannbåren gulv- og veggvarme i en innervegg. Vegghøyden er 2,4 m og veggen er dekket med gipsplater på begge sider. Gulvbelegget er 15 mm parkett.

Man kan også delvis kompensere for lavere utvendig konvektiv varmeoverføring ved å utforme veggen med spalte i bunn og topp som tillater en intern luftstrøm, se fig. 7.1.4 og 7.1.5. Da overflatetemperaturen på vannrørene og varmfordelingsplatene i middel vil ligge 3-5 °C høyere enn veggens utvendige overflatetemperatur, vil dette gi en mer effektiv innvendig konveksjon i veggen. Den nedre spalten der luften trekkes inn i veggen kan evt. dekkes med rist el. som kan fjernes for rengjøring. Økt konvektiv varmeavgivelse fra veggen fører normalt til større vertikal temperatursjiktning i rommet. Dette kan være uheldig og føre til høyere infiltrasjon og ventilasjonstap.

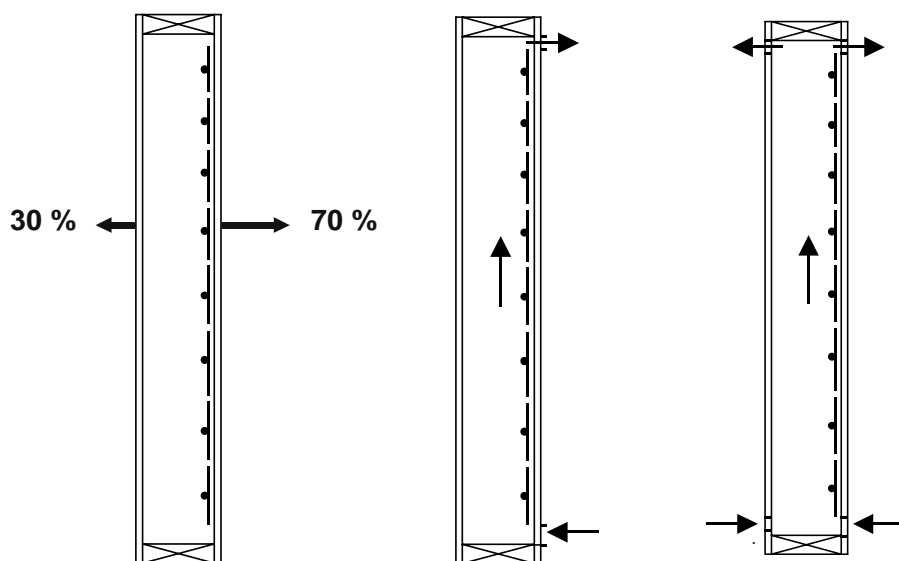


Fig. 7.1.4. Varmefordelingsplater har kontakt med en side av innerveggen. Innerveggen vil avgi varme til rom på begge sider av veggen.

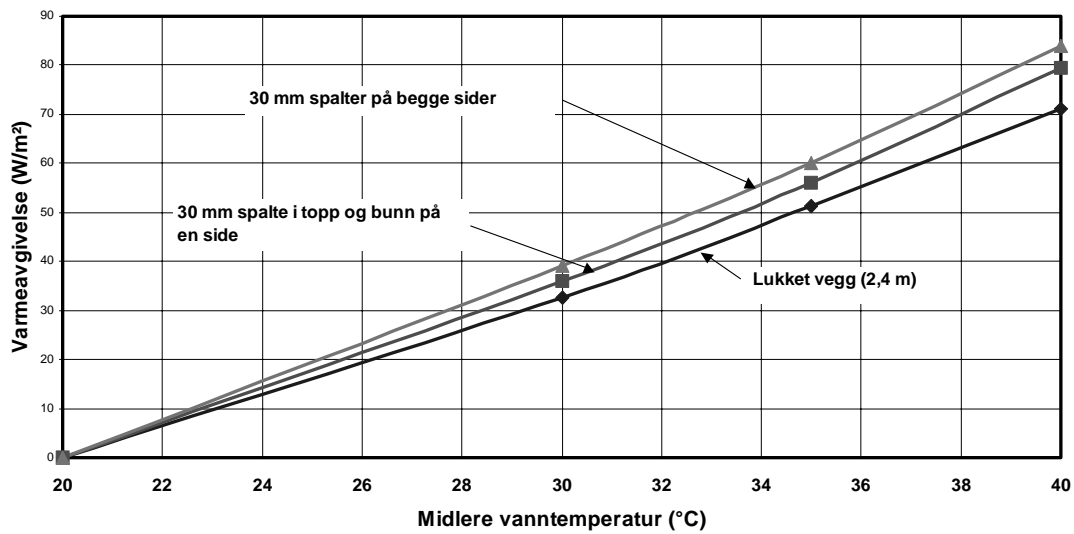


Fig. 7.1.5. Målinger av varmeavgivelse fra en innervegg dekket med 13 mm gipsplater. Ca. 70 % av veggflaten på en side er dekket med varmfordelingsplater og det er brukt 20x2 mm PEX-rør c/c 280 mm.

Det er mer effektivt å montere varmfordelingsplater på begge sider av innerveggen, se fig 7.1.6. Dette er også mulig å gjennomføre ved rehabilitering ved å fjerne platene på en side av innerveggen.

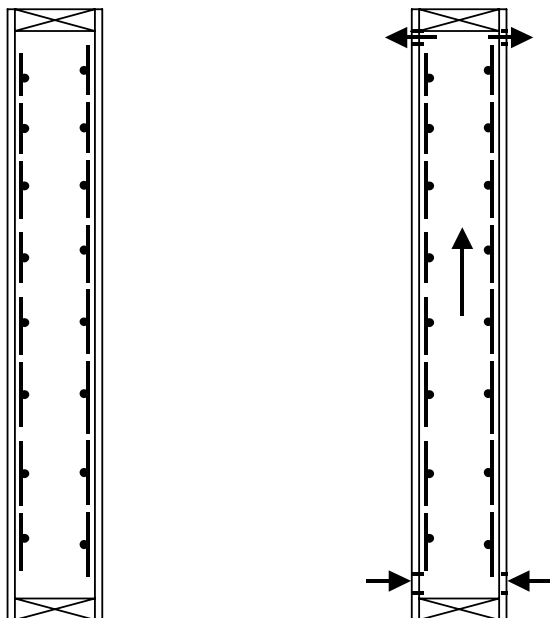


Fig. 7.1.6. Varmerør og varmfordelingsplate plassert innvendig på begge sider av innerveggen.

Figur 7.1.7 angir samlet spesifikk varmeavgivelse fra en gipsdekket 2,4 m høy innervegg der det er plassert varmerør og varmfordelingsplater innvendig på begge sider. Varmen avgis til

rommene på begge sider av vegg. Samlet varmeavgivelse, som funksjon av midlere vanntemperatur, vil foruten veggbekledningen være avhengig av dimensjonene på varmerørene, type varmefordelingsplater og røravstand. Den angitte varmeavgivelsen vist i fig. 7.1.7 gjelder derfor spesifikt for den aktuelle veggkonstruksjonen og må korrigeres for andre veggvarmeutførelser.

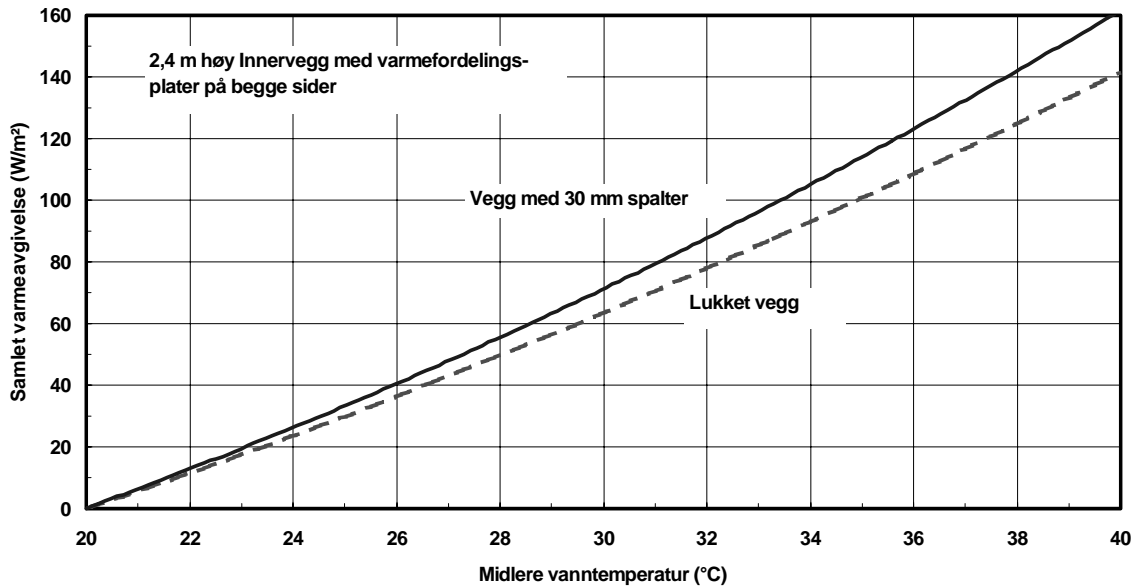


Fig. 7.1.7. Samlet spesifikk varmeavgivelse fra en 2,4 m høy lettvegg med varmefordelingsplater innvendig på begge sider. Varmen avgis til rommene på hver sider av innerveggen. Det er brukt 0,8 mm tykke Al-varmefordelingsplater med røravstand 280 mm. Veggbekledningen på begge sider består av 13 mm tykke gipsplater.

7.2. Brystningsvegg som heteflate

Hvis det ikke er ønskelig å legge rør inne i veggkonstruksjonen, er det mulig å montere brystningsvegger med veggvarme. Dette bør fortrinnsvis gjøres på innervegger da det er behov for tilleggsisolasjon om veggvarmen legges i yttervegger. Bruk av veggvarme i tilknytning til yttervegger krever tilleggsisolasjon. Brystningsvegger med veggvarme på innervegger kan anlegges på en eller begge sider og vil da tjene som store, lavtemperatur radiatorer, se fig. 7.2.1. Både for å øke heteflaten og den konvektive varmeavgivelsen, er det en fordel å gjøre brystningsveggene så høye som mulig f.eks. 1,2 – 1,5 m høy. En praktisk fordel med en brystningsvegg er at den er enkel å sette opp. Brystningsvegger egner seg derfor godt ved ettermontering av vannbårent varmeanlegg i eksisterende bebyggelse. Det er ikke nødvendig å fjerne gamle veggplater eller panel og anlegget er lite arealkrevende idet veggene bare bygger 30 - 50 mm. Ved å montere varmerørene i en lav brystningsvegg er det også mindre sannsynlig at rørene skades ved at det spikres i vegg. Når brystningsveggen med varmerør plasseres på yttervegger bør tykkelsen økes til 80 mm for å få plass til minimum 50 mm tilleggsisolasjon. For uventilerte yttervegger kan tilleggsisolasjonen dekket med Al-folie som tjener som diffusjonssperre og varmereflekterende sjikt.

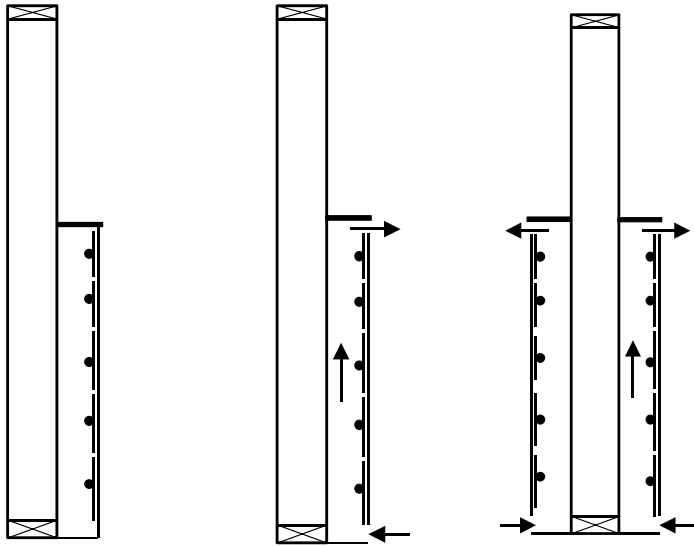


Fig. 7.2.1. Vegger med brystningsvegger på en eller begge sider. Brystningsveggen kan utføres med spalter oppe og nede for øke varmeavgivelsen. Veggvarmeanlegg mot yttervegger tilleggisoleres med minimum 50 mm isolasjon. For uventilerte yttervegger kan tilleggisolasjonen dekket med Al-folie som tjener som diffusjonssperre og reflekterende sjikt.





Fig. 7.2.2. Tilleggsisolert yttervegg med ventilert veggvarmeanlegg i 1,5 m høy brystningsvegg. Innervegger har brystningsvegger med veggvarme på begge sider. Brystningsveggen er dekket med trepanel. (Vekselpanel med 12x120 mm overligger og 9x120 mm underligger).

Figur 7.2.3 viser spesifikk varmeavgivelse fra en åpen og lukket, 1,4 m høy brystningsvegg montert på en side av en innervegg. Det er brukt ett lag 13 mm gipsplater som veggbekledning, 0,8 mm tykke Al-plater og røravstand 280 mm.

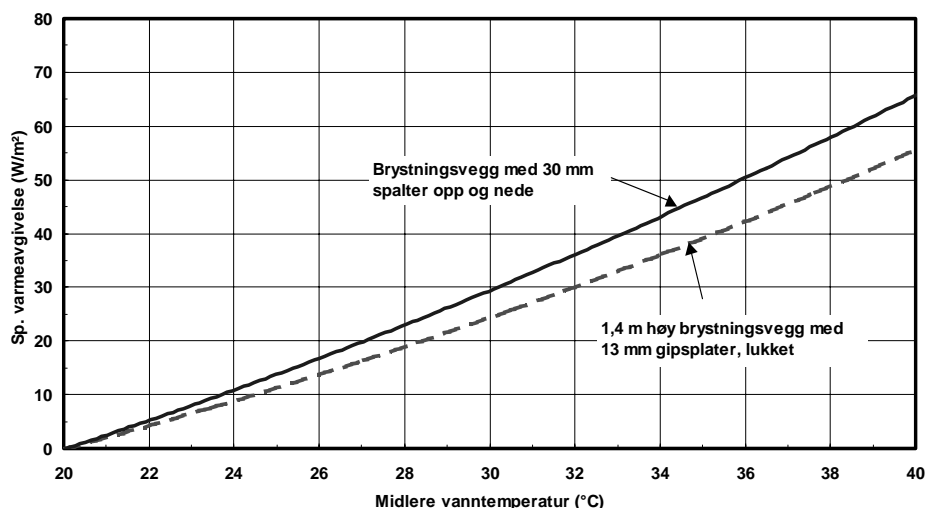


Fig. 7.2.3. Eksempel på spesifikk varmeavgivelse fra en åpen og lukket, 1,4 m høy brystningsvegg, med veggvarme.

Figur 7.2.4 viser varmfordelingen fra en lukket brystningsvegg med veggvarme. Det fremgår her at overflatetemperaturen på veggen øker noe med høyden. Turvannet bør derfor først tilføres nedre deler av veggen (motstrømsprinsipp). For mindre vegger med liten avkjøling av vannet har

dette mindre betydning. Etter hvert som luften stiger opp langs veggflaten vil den varmes opp, lufthastigheten øker, strømming blir turbulent og større luftmengder varmes opp. Samtidig vil strålevarmen fra veggen være direkte avhengig veggoverflatens temperatur som øker med høyden. For å oppnå størst mulig heteflate og en effektiv spesifikk varmeavgivelse bør brystningsveggen være så høy som mulig.

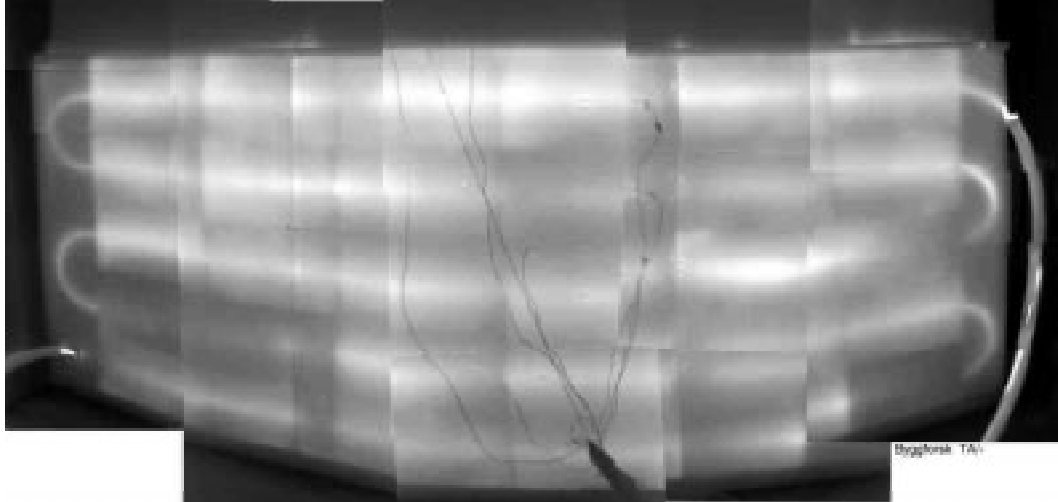


Fig. 7.2.4. Termovisjonsbilde av en lukket brystningsvegg med veggvarme. Brystningsveggen har høyde 1,4 m og er dekket med gipsplater. Gjennomsnittlig vanntemperatur ca. 41°C og målt varmeavgivelse 57 W/m². Maksimal overflatetemperatur i øvre deler av veggen er 26,5 °C.

Figur 7.2.5 viser spesifikk varmeavgivelse fra den delen av vegg som er dekket med varmfordelingsplater i aluminium fra en lukket 1,4 m høy brystningsvegg og en 2,4 m høy innervegg. Den relativt store forskjellen i spesifikk varmeavgivelse skyldes også at den høye lettveggen avgir varme til begge sider, mens brystningsveggen vesentlig til en side. En spalte i topp og bunn av brystningsveggen, se fig. 7.2.1, vil ventilere brystningsveggen og dermed øke den konvektiv varmeavgivelsen. Det er en fordel at den oppvarmede luften avgis i lavere høyde. Samtidig kan man utforme brystningsveggen med en topplate som gir bedre luftomrøring og mindre temperatursjiktning i høyden. Som et alternativ til å ha en spalte i topp og bunn av brystningsveggen for å øke varmeavgivelsen kan man dekke tilleggsisolasjonen eller innerveggen med en varmereflekterende folie (Al-folie) før montering av varmfordelingsplater og varmerør. Dette vil også redusere varmetapet når veggvarme monteres i yttervegger.

Bruk av varmfordelingsplater er en vesentlig forutsetning for å sikre god varmeledende kontakt og fordele varmen over veggflaten og dermed muligheten av å kunne utnytte lave vanntemperaturer. Man bør derfor tilstrebe at størst mulig del av veggflaten er dekket med Al-plater. I fig. 7.1.1 dekker varmfordelingsplatene 70 – 80 % av veggarealet. Dette vil kunne forbedres noe ved at Al-platene forlenges og dekker større deler av rørbøyene. Man vil da samtidig få noe bedre mekanisk beskyttelse av rørene, se fig. 7.2.2.

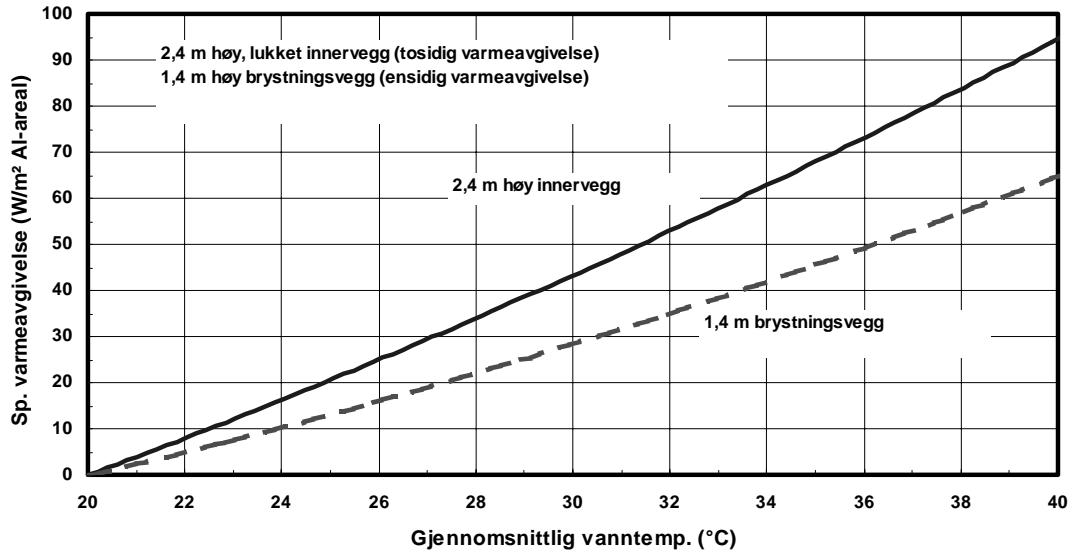


Fig. 7.2.5. Spesifikk varmeavgivelse fra den delen av veggflaten som er dekket av varmfordelingsplater for en lukket 1,4 m høy brystningsvegg og lukket 2,4 m høy innervegg. Den relativt store forskjellen i spesifikk varmeavgivelse skyldes bl.a. at den høye lettveggen avgir varme til begge sider, mens brystningsveggen vesentlig til en side.

Figur 7.2.6. viser oppvarmingsforløpet for en 1,4 m høy lukket brystningsvegg. Tidskonstanten for oppvarming ligger på ca. 15 minutter som er omtrent det samme som for lette gulvvarmeløsninger. Det betyr at den aktuelle veggvarmekonstruksjonen kan karakteriseres som et dynamisk varmeanlegg med kort responstid på linje med lette gulvvarmeanlegg.

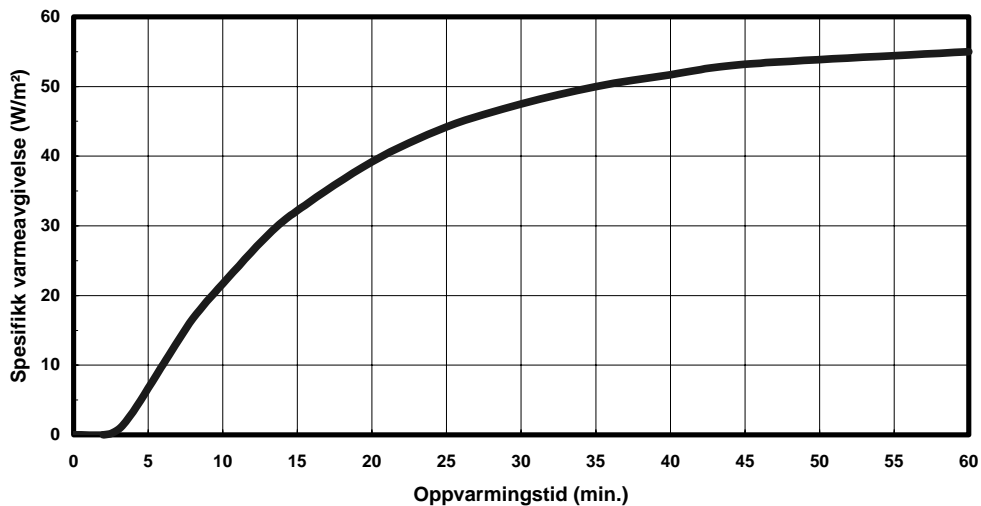


Fig. 7.2.6. Målt oppvarmingsforløp for brystningsvegg. Spesifikk varmeavgivelse fra en lukket, 1,4 m høy brystningsvegg. Gjennomsnittlig vanntemperatur er ca. 40 °C og lufttemperaturen ca. 20 °C. Tidskonstanten for oppvarming er ca. 15 min.

8. Takvarme

Vannbåren takvarme kan også være en aktuell løsning. Da takvarmeanlegget vesentlig avgir varme med stråling, som i oppvarmingssammenheng er gunstig, vil det kreve høyere overflatetemperaturer for å oppnå samme varmeavgivelse som fra gulv- og veggvarme. Takvarmeanlegget vil også bidra til å heve gulvtemperaturen som er viktig for å sikre god komfort. Temperaturen på takoverflaten bør ikke overstige 30 °C. Dette begrenser maksimalt avgitt varmeeffekt til ca. 65 W/m². Ved utnyttelse av lave vanntemperaturer vil varmeavgivelsen være vesentlig mindre, i størrelsesorden 25 – 30 W/m². Dette er omtrent samme varmeavgivelse man har fra en gulvflate under komfortmessige optimale forhold. Lavtemperatur takvarmeanlegg kan brukes som eneste varmeanlegg i en lavenergibolig eller opprettholde en basisvarme med tilskudd fra andre varmeanlegg.

En stor fordel med et takvarmeanlegg er at dette kan bruke som kjøletak under sommerforhold, se fig. 8.1. Det stilles også normalt færre funksjonskrav til en himling enn til gulv og vegger. Dette gjør det enklere å velge varmeteknisk gunstige materialkombinasjoner for takvarmeanlegg som samtidig gjør varmeanlegget mindre varmetregt.

For å forenkle monteringen i nybygg kan det være en fordel å bruke prefabrikkerte løsninger, se fig. 8.1. Takvarme kan installeres i horisontale himlinger i mellombjelkelag, fig. 5.4 eller mot kalde luftede loft. I sistnevnte tilfelle bør takisolasjonen i nybygg økes til 400 mm for å unngå tilleggsvarmetap. Denne løsningen er også godt egnet ved rehabilitering av eldre bebyggelse med kalde, dårlig isolerte himlinger som likevel bør etterisoleres.

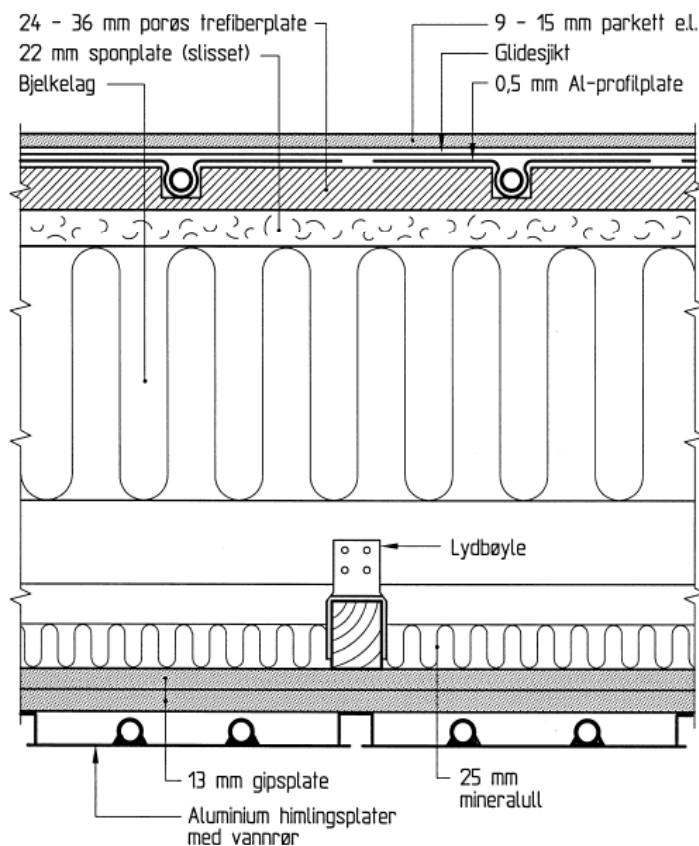


Fig. 8.1. Gulv- og takvarme kombinert med trinn- og luftlydisolasjon. Takvarmeanlegget, som kan bestå av prefabrikkerte enheter, kan også brukes som kjøletak under sommerforhold.

9. Individuell temperaturregulering

Oppvarmingsbehovet i boliger avhenger primært av to variabler: utelufttemperaturen og solinnstrålingen. For godt isolerte boliger har også interne varmekilder (belysning, elektrisk utstyr, personer osv.) betydelig innflytelse på varmebalansen i de enkelte rom, se fig 4.3. Resultatet er rom eller soner med ulike og hurtig varierende varmebehov. Det krever i prinsippet mulighet for individuell temperaturregulering i hvert rom eller temperatursone, fortrinnsvis basert på bruk av romtermostater. Bruk av romtermostater forutsetter igjen at varmeanlegget ikke er for varmetregt.

Moderne mennesker har en mer fleksibel bruk av boligen enn tidligere og boligen vil i perioder kunne stå tom i store deler av døgnet. Samtidig er det ikke uvanlig at man fortsetter å bo i en relativt stor bolig også etter at plassbehovet er sterkt redusert. Ut fra et energiøkonomisk synspunkt vil det derfor være ønskelig at romtemperaturen til en viss grad kan styres etter behov. Valg av styringsstrategi som er tilpasset varmeanleggene, er derfor av vital betydning for å sikre et godt inneklima og unngå høyt energiforbruk.

For å sikre god temperaturregulering i rom med hurtig skiftende varmebehov kan man bruke en lett tak-, vegg- eller gulvvarmeutførelse. Alternativet er å kombinere en mer tradisjonell varmetreg utførelse med et mer dynamisk varmeanlegg. Som dynamiske varmeanlegg kan man bruke mindre termostatstyrte elektriske varmeovner under vinduer (kan være nødvendig for å motvirke kaldras), bruke veggvarme eller ettervarming av ventilasjonsluften. Ettervarming av ventilasjonsluften forutsetter balanserte ventilasjonsanlegg der man kan varme opp luften med elektrisitet eller lavtemperert vann. Hvis man ønsker å unngå å forsere ventilasjonsmengden utover det som er nødvendig for å ventilere boligen, er det relativt begrenset varmemengde man kan tilføre med ventilasjonsluften, se fig. 9.1.

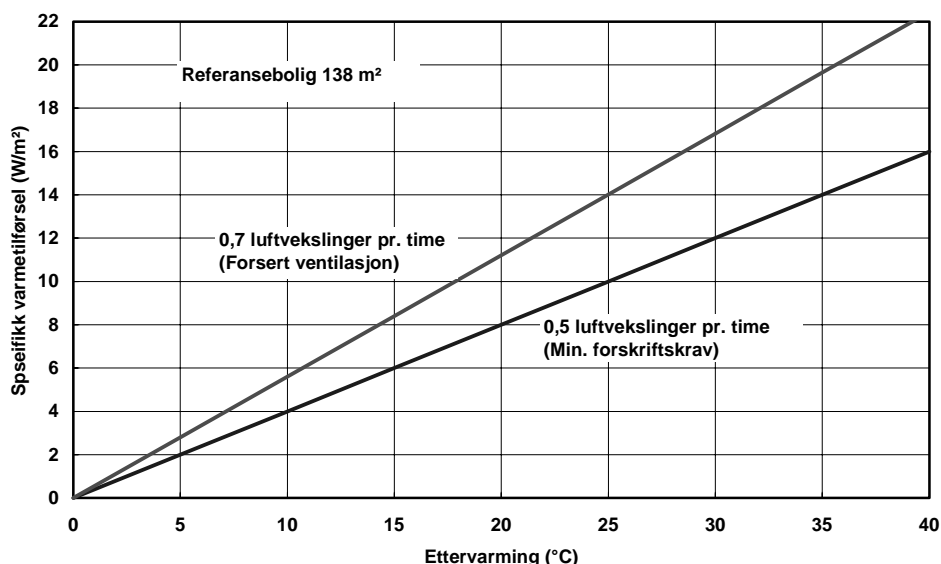


Fig. 9.1. Varmetilskudd til oppvarmingsformål ved for- og ettervarming av ventilasjonsluften for en referansebolig med gulvflate 138 m². Det er forutsatt 0,5 luftvekslinger pr. time (min. forskriftskrav) og forsert ventilasjon med 0,7 luftvekslinger pr. time.

Ettervarming av ventilasjonsluften med lavtemperaturvarme krever relativt store heteflater. En måte å gjøre dette på er å integrere tilluftskanalene i innerveggene med veggvarme, se fig. 9.2.

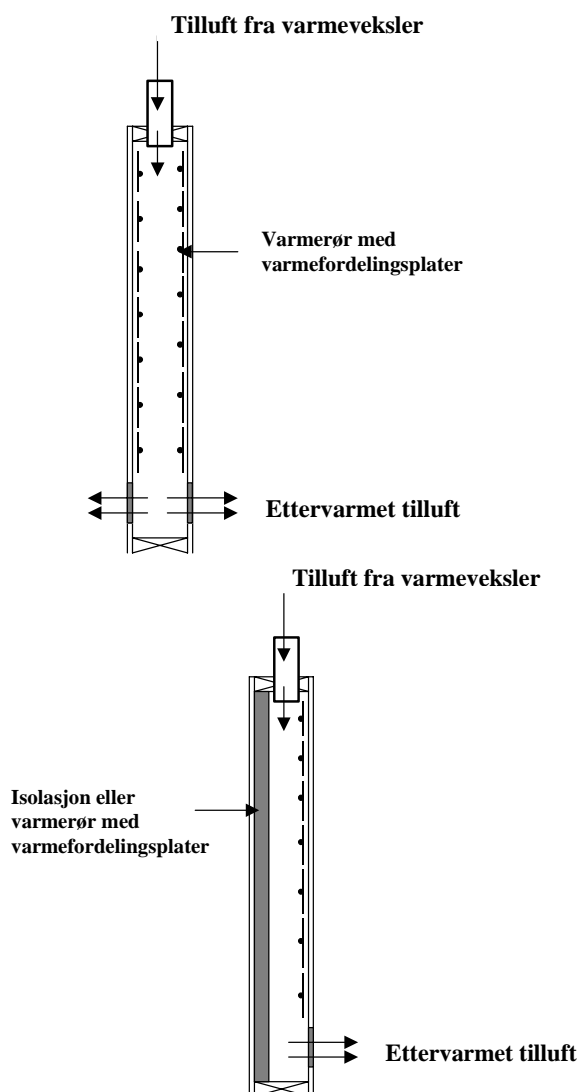


Fig. 9.2. Prinsippskisse: Deler av innervegger med veggvarme brukt som tilluftskanal for ettervarming av ventilasjonsluft med lavtemperaturvarme og diffus lufttilførsel til rommene. Det forutsettes at bygningen er utstyrt med balansert ventilasjon med varmegjenvinning av avtrekksluften. Isolasjonen inne i veggen kan brukes for å unngå avkjøling av veggen mot naborommet og vil samtidig tjene som en lyddemper. En løsning som kan være aktuelt for soverom der det ønskes lavere lufttemperatur .

Med ettervarming av ventilasjonsluften oppnår man en bedre utnyttelse av lavtemperaturvarmen. Dette er særlig aktuelt i spesielt kalde perioder der varmeanlegget alene har utilstrekkelig kapasitet eller der tilluften må ettervarmes for å unngå kald trekk. Både veggvarmeanlegget og ettervarmingen av ventilasjonsluften inngår som dynamiske elementer i varmeanlegget og kan styres med en romtermostat.

Tradisjonelle varmetrege gulvvarmeanlegg, som gjerne består av vannrør innstøpt i betonggulvet, vil kunne stå for husets basisoppvarming. Turtemperaturen til det varmetrege varmeanlegget kan være utetemperaturkompensert. Man kan dermed utnytte vesentlig lavere vanntemperaturer og bruke en temperatur på gulvoverflaten som generelt gir god komfort. Det betyr i praksis gulvtemperaturer rundt 23 °C, vanntemperatur godt under 30 °C og varmeavgivelse i størrelsesorden 20 – 30 W/m² avhengig av lufttemperaturen i rommet. Denne varmeavgivelsen kan være tilstrekkelig i en lavenergibolig. Gulvvarmeanlegget vil da kunne være eneste varmeanlegg.

Da det i de fleste tilfeller vil være et temperaturtap fra varmerørene og varmefordelingssjiktet til gulvoverflaten, vil overflatetemperaturen på gulvet fortsette å stige i takt med økende lufttemperaturer forårsaket av solinnfall eller store intern-laster. Det vil derfor være gulvoppbyggingen og gulvets varmetreghet som er bestemmende for hvor hurtig denne temperaturstigningen på gulvoverflaten vil være. Det er derfor en stor overdrivelse å snakke om at varmetrege gulvvarmeanlegg generelt har selvregulerende egenskaper. Skal varmetrege gulvvarmeanlegg tilnærmet ha selvregulerende egenskaper forutsetter dette at rommet har et beskjedent varmebehov, og at det er brukt keramiske fliser el. som gulvbelegg over betonggulvet som begrenser vanntemperaturen. Generelt vil varmetrege lavtemperatur gulvvarmeanlegg kunne begrense hastigheten på temperaturstigningen, men bare i liten grad bidra til å senke temperaturtoppene. Utnyttelsesgraden for varmetilskudd fra passiv sol og interne laster blir dermed redusert på bekostning av et økt energiforbruk. Varmetrege varmeanlegg kommer lett ut av fase med varmebehovet som resulterer i økt energiforbruk, gjerne kombinert med dårlig inneklima.

En måte å fjerne overskuddsvarme fra gulv med stor varmekapasitet og samtidig unngå energitap, er å kjøre gjennom kaldt vann i gulvvarmeanlegget, se fig. 9.3. Dette vannet vil da varmes opp og utnyttes til å forvarme tappevannet. Inntakstemperaturen på tappevannet om våren med stort solinnfall vil være på sitt laveste og gjerne holde en temperatur på 2-4 °C. Man kan dermed få full utnyttelse av tilskuddsvarmen som også bidrar til å bygge opp gulvets varmemagasin som kan utnyttes når man igjen har et varmebehov.

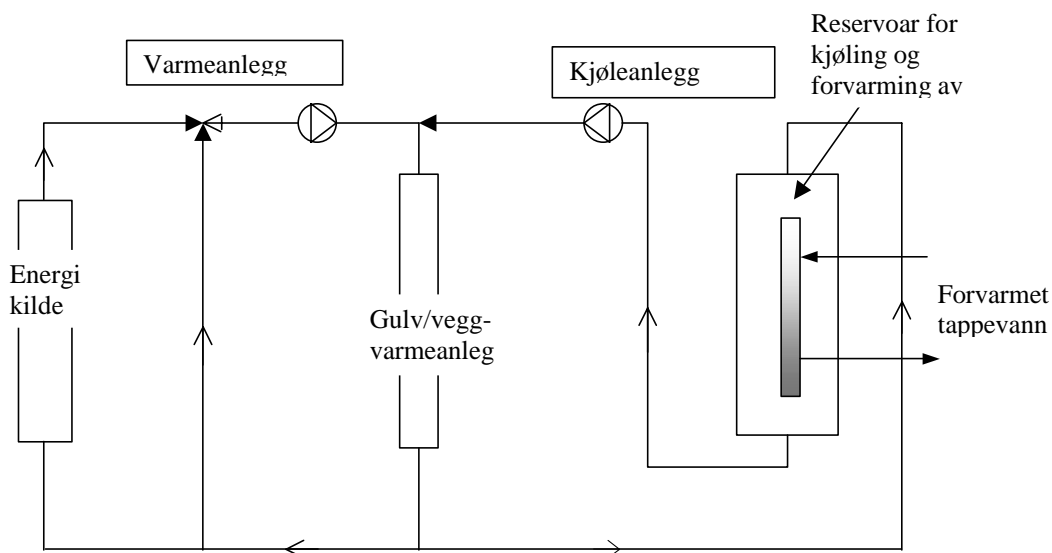


Fig. 9.3. System for fjerning av overskuddsvarme i gulv med gulvvarme og stor varmekapasitet.

Det å bruke varmetrege gulvvarmeanlegg som basisvarme er normalt et mer energiøkonomisk alternativ. Man står samtidig friere i valg av energikilder og gulvmaterialer, begrenser

overtemperaturer og unngår uttørring av gulvbelegg som parkett el. Man får større utnyttelse av passiv sol og interne laster. Varmebalansen forutsettes da opprettholdt av andre mer dynamiske varmekilder som kan styres ved hjelp av individuelle romtermostater.

Det finnes også andre styringsstrategier og reguleringsprinsipper for varmetrege varmeanlegg der man for eksempel til en viss grad kan forutse kommende endringer [50].

10. Avsluttende kommentarer

Kravene til fremtidens varmeanlegg er store og omfatter komfort, energiøkonomi, miljøforhold, brukervennlighet, valg av energikilde, etc. Varmeaneleggene må derfor være fleksible og kunne tilpasses både bygningens og brukernes varierende behov. Det er derfor en stor utfordring å tilpasse varmeanleggenes termiske egenskaper og regulerbarhet til bygningenes varierende varmebehov. Samtidig inngår varmeanlegget som en integrert del av bygningskonstruksjonen og må ses i sammenheng med byggets øvrige installasjoner. Det tenkes da særlig på ventilasjonssystemet som kan ha stor innvirkning på varmeanleggets effektivitet og som samlet vil sikre et godt inneklima.

I tillegg til kravet om god komfort og energieffektivitet, må anlegget også være kostnadseffektivt. I motsetning til tradisjonelle løsninger med bruk av panelovner, radiatorer og ovner som ofte monteres etter at bygningskonstruksjonen er ferdig, må lavtemperatur varmeanlegg med store heteflater integreres på en helt annen måte i bygningskonstruksjonen. Elementer i varmeanlegget vil derfor kunne tilfredsstillere andre funksjoner som trinnlydisolasjon, tilleggisolasjon, gulvavretting, etc. og på denne måten redusere varmeanleggets anleggskostnader, se fig. 10.1. Det er derfor angitt rasjonelle løsninger som kan tilpasses bygningers ulike konstruktive løsninger.

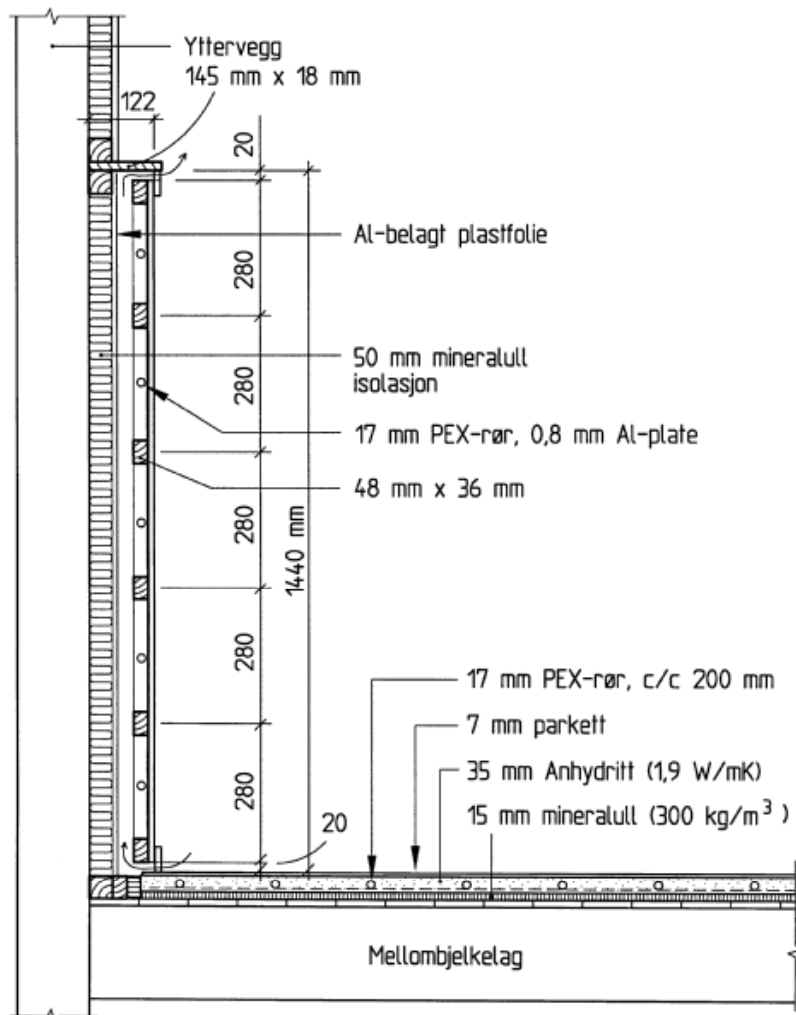


Fig.10.1. Eksempel på elkonertering med bruk av vannbåren gulv- og veggvarme i eksisterende bygning. Gulvvarmeanlegget avretter gulvet og sikrer god trinnlydisolasjon, mens veggvarmeanlegget plassert på yttervegger kobles sammen med tilleggisolering.

Det er generelt viktig å sette av plass til pumper, fordelingsrør, tanker og kontrollutstyr. Dette utstyret bør isoleres godt for å unngå uønsket varmeavgivelse. Varmeanlegget må også utføres slik at man på en enkel måte kan oppnå tilfredsstillende temperaturregulering. Bygningstype og brukssituasjon vil avgjøre om man bør velge en utførelse med lette, tunge varmetrege eller kombinasjonsløsninger. Felles for de løsningene som velges bør være å sikre mulighet for en individuell temperaturkontroll i de enkelte rom eller temperatursoner.

Stor driftssikkerhet, lang levetid og enkel betjening er også viktige egenskaper. Det er relativt enkelt for lavtemperatur varmeanlegg, som vesentlig består av plastrør, å velge materialkombinasjoner der man helt unngår korrosjon som kan skape driftsproblemer. Det er også viktig at man har enkel tilgang til skjøter, ventiler og øvrig utstyr tilknyttet varmeanlegget for å unngå vannlekkasjer.

11. Referanser

- [1] Gundersen, Per: Energifleksible varmeanlegg. Prosjektrapport 270. Norges byggforskningsinstitutt. Oslo 2000.
- [2] NBI Byggedetaljer 552.122. Vannbåret lavtemperatur gulvvarmeanlegg med stor energifleksibilitet. 2000.
- [3] NBI byggedetaljer 552.124. Vannbåret lavtemperatur gulvvarme i lette flytende golv.
- [4] Skåret, Eimund: Inneklimavennlig boligoppvarming. Intern arbeidsrapport 2000.
- [5] Rekstad, John: Kostnadseffektive og energisparende oppvarmingssystemer. SolarNor versjon 2000.
- [6] Lowex news (IEA Annex 37) no. 2. January 2001

