

Per Gundersen

Lavtemperatur i varmeanlegg

Takvarme i ny og eksisterende bebyggelse



Prosjektrapport 337
Per Gundersen
Lavtemperatur varmeanlegg
Takvarme i ny og eksisterende bebyggelse

Emneord:
varmeanlegg, gulvvarme, veggvarme, takvarme, ventilasjon,
energi, oppvarming, kjøling, vannbåren varme, lydisolasjon

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0779-2

200 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 delresultater fra flere forskningsprosjekter ved NBI knyttet til vannbåren lavtemperatur varmeanlegg i bygninger. Prosjektene mottar finansiering fra Norges forskningsråd, ENOVAs byggoperatør og Husbanken.

Rapporten behandler lavtemperatur vannbaserte varmeanlegg til bruk i ny og eksisterende bebyggelse. Varmeanleggene skal derfor kunne tilpasses store sprang i varmebehov fra nye, moderne boliger med beskjedent oppvarmingsbehov, til eksisterende bebyggelse med store varmebehov. Dette er relativt enkelt å oppnå med lavtemperatur varmeanlegg idet det vesentlig er snakk om å øke heteflatenes størrelse. Utformingen av de enkelte heteflater vil derfor være uavhengig av rommets varmebehov. For å oppnå tilstrekkelig areal på heteflatene kan det være behov for å kunne utnytte deler av gulvflaten, veggene og taket. Målsettingen bør generelt være at en etablering av heteflater, også på klimaskjermen, ikke må føre til økt tilleggsvarmetap. Det er derfor presentert løsninger der heteflater er plassert på alle tilgjengelige flater i rommet.

Rapporten er en videreføring av tidligere NBI Prosjektrapporter 270 "Energifleksibel varmeanlegg" og 317 "Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg". Hovedvekten i denne rapporten er lagt på takvarme som er meget velegnet i nye moderne boliger med beskjedent varmebehov og som supplement til varmeanlegg i eksisterende bebyggelse. For å få bedre oversikt over praktiske forhold med å etablere heteflater, er løsningene i tillegg til nødvendige laboratorieundersøkelser og beregninger, for å klarlegge dimensjoneringsgrunnlaget, også utprøvd i fullskala forsøksbygging under ulike forutsetninger..

Av aktive samarbeidspartnere vil vi særlig trekke frem Rockwool AS, Probata AS, Hunton Fiber AS og SolarNor AS.

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.

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

Oslo, november 2002
Per Gundersen

Jørn Brunsell
Avdelingssjef

Sammendrag

Rapporten behandler lavtemperatur vannbaserte varmeanlegg til bruk i ny og eksisterende bebyggelse. Varmeanleggene skal derfor kunne tilpasses store sprang i varmebehov fra nye moderne boliger med beskjedent oppvarmingsbehov til eksisterende bebyggelse med store varmebehov. Dette er relativt enkelt å oppnå med lavtemperatur varmeanlegg idet det vesentlig er snakk om heteflatenes størrelse. Utformingen av de enkelte heteflater vil derfor være uavhengig av rommets varmebehov. For å oppnå tilstrekkelig areal på heteflatene kan det være behov for å kunne utnytte deler av gulvflaten, veggene og taket. Det er derfor presentert løsninger der heteflater er plassert på alle tilgjengelige flater i rommet. Målsettingen bør generelt være at en etablering av heteflater, også på klimaskjermen, ikke må føre til økt tilleggsvarmetap.

Rapporten er en videreføring av tidligere NBI Prosjektrapporter 270 og 317 "Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg". Hovedvekten i denne rapporten er lagt på takvarme som er meget velegnet i nye moderne boliger med beskjedent varmebehov og som supplement til varmeanlegg i eksisterende bebyggelse. For å få bedre oversikt over praktiske forhold med å etablere heteflater, er løsningene i tillegg til nødvendige laboratorieundersøkelser og beregninger, for å klarlegge dimensjoneringsgrunnlaget, også utprøvd i fullskala forsøksbygging under ulike forutsetninger.

Vannbåren lavtemperaturvarme med vanntemperaturer i området 25 – 35 °C er en forutsetning for energifleksibel og effektiv utnyttelse av nye fornybare energikilder til oppvarmingsformål. I praksis betyr dette gulv-, vegg- og takvarme. Man kan også bruke lavtemperaturvarme til å for- eller ettervarme ventilasjonsluften. For at lavtemperatur varmeanlegg også skal være energieffektive setter dette store krav til utførelsen. Med den teknologien man i dag har til rådighet, vil varmeavgivelsen med en vanntemperatur på 30 °C være 30 – 40 W/m². Dette begrenser heteflatens størrelse i nye, godt isolerte bygninger med varmegjenvinning fra avtrekksluften. Man vil da kunne velge mellom gulv-, vegg- eller takvarme. Heteflatene bør fortrinnsvis plasseres på flater der man unngår tilleggsvarmetap. Dette kan være på innervegger, himlinger og gulv. Hvis man plasserer heteflatene på klimaskjermen vil dette normalt kreve ekstra isolasjon for å unngå tilleggsvarmetap. Her vil gulv på grunnen skille seg fordelaktig ut idet det med dagens krav til isolasjonstykkelse (ca. 200 mm) er et meget beskjedent varmetap til grunnen også med bruk av gulvvarme. Dette forutsetter imidlertid at man unngår kuldebroer ved overgang ringmur/vegg/gulv.

Et problem med lavtemperatur gulvvarme er at gulvflaten har en rekke andre funksjoner å ivareta enn å tjene som en heteflate. Deler av heteflaten kan være dekket med teppe, møbler, etc. som begrenser heteflatens effektive areal og dermed varmeavgivelsen. I tillegg vil man gjerne stå fritt til å velge gulvmaterialer som tykke heltregulv, skipsgulv, etc. som har stor varmemotstand og begrenser varmeavgivelsen. Hvis gulvvarmeanlegget er eneste varmeanlegg kompenserer man gjerne en lav varmeavgivelse ved å sette opp vanntemperaturen. For lavtemperatur varmeanlegg vil dette imidlertid ikke alltid være mulig. Høyere vanntemperaturer vil kunne gjøre varmeproduksjon mindre effektiv, føre til økt varmetap og gi store temperaturskjeller som kan skape problemer for en rekke gulvmaterialer. Gulvvarmeanlegg der varmerørene er støpt ned i betong gir stor varmetreghet som kan skape problemer med temperaturreguleringen. Dette kan imidlertid løses ved å bruke en lett gulvvarmeutførelse.

Takvarme kan være et godt alternativ til gulvvarme. Takvarme vil kreve noe høyere overflatetemperatur for å avgi samme varmemengde som gulvvarmeanlegg, men dette kan kompenseres ved å bruke himlingsmaterialer med mindre varmemotstand. Takvarmeanlegget setter også klare begrensninger på maksimale overflatetemperaturer tilsvarende som for gulvvarmeanlegg. En stor fordel med takvarme er at man normalt har hele takflaten tilgjengelig som heteflate. Man tåler også større temperaturforskjeller over takflaten uten at dette går utover komforten. Dette vil kunne forenkle monteringen i betydelig grad. For et godt isolert gulv på grunnen vil overflatetemperaturen på gulvet bare ligge noen tiendedels grader under romluftstemperaturen. Takvarmeanlegget, som vesentlig avgir varme med langbølget stråling, vil også varme opp gulvoverflaten. Overflatetemperaturen på gulvet vil dermed kunne ligge høyere enn romluftstemperaturen og komme meget nær det de fleste oppfatter som en optimal gulvtemperatur i oppholdsrom (23 °C). Bruk av steingulv eller keramiske fliser i oppholdsrom vil normalt kreve noe høyere overflatetemperaturer for å oppnå god komfort.

Eksisterende bebyggelse med relativt stort energibehov til oppvarming vil kreve større heteflater ved bruk av lavtemperatur varmeanlegg. Det er normalt ikke tilstrekkelig å bruke gulvflaten alene som heteflate. Det bør generelt være et ufravikelig krav at etterinstallering av lavtemperatur varmeanlegg ikke bør føre til et øket energibehov. For å sikre tilstrekkelig store heteflater vil det være nødvendig også å plassere varmeanleggene på klimaskjermen. Disse heteflaten bør da kombineres med etterisolering. I de tilfeller der det er vanskelig å oppnå tilstrekkelig tilleggisolering, bør man bare utnytte varmeanlegget til å kompensere for bygningsdelens varmetap og heller la andre heteflater sørge for oppvarmingen. Det viktige er at man samlet oppnår et redusert energibehov. Tilsvarende kan man kombinere en forbedret trinn- og luftlydisolasjon med gulv- og takvarme.

Rapporten viser kostnadseffektive løsninger med lavtemperatur varmeanlegg beregnet for nye og eksisterende bygninger. I eksisterende bygninger bør man kombinere heteflater for lavtemperatur varmeanlegg med tilleggisolering av gulv- og yttervegger og forbedret lydisolasjon av etasjeskillere. Etasjeskillere der man kombinerer lydisolasjon med gulv- og takvarme er også meget velegnet i nye bygninger med beskjedent varmebehov. Man oppnår dermed å få flere kostnadsbærere der tilleggs-kostnadene til å etablere heteflatene vesentlig begrenses til montering av varmerør og varmefordelingsplater. For øvrig henvises til tidligere rapporter som omhandler tema lavtemperatur varmeanlegg [1][2].

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag	4
Innhold	6
1. Grunnlag	7
Lavtemperaturvarme	7
2. Forutsetninger for å kunne utnytte lavtemperaturvarme.....	7
Nybygg	7
Eksisterende bebyggelse	9
3. Eksempler på utførelse	9
Veggvarme.....	9
Gulvvarme kombinert med trinnlydisolasjon, lett og mellomtung løsning	11
Detaljer for å sikre god varmeoverføring fra varmerør og varmfordelingsplater til heteflate.....	12
Tilleggisolering av heteflater på klimaskjermen.....	14
Eksempel på tilleggisolering av heteflater plassert på klimaskjermen	15
Vannføring i varmerørene.....	16
Rørmønster	16
Bruk av reflekterende dampsperrsjikt.....	17
Eksempel på lydhimling med takvarme	17
Etterisolering av kalde loft kombinert med takvarme	21
4. Varmeavgivelse fra takvarmeanlegg	23
Temperaturbegrensninger og komfort	24
Varmeavgivelse	25
Takvarme og temperaturfordeling	27
Kombinasjon av takvarme og tilluft- eller omluftsventiler	28
5. Oppsummering	29
6. Referanser	29
Bilag 1	31
Ceiling heating/cooling.....	31
In new and existing buildings	31

1. Grunnlag

Lavtemperaturvarme

Med lavtemperaturvarme forstås varmeanlegg der man kan utnytte vanntemperaturer i området 25 til 35 °C. I praksis betyr dette gulv- vegg- og takvarmeanlegg. Man kan også bruke lavtemperaturvarme til å for- og ettervarme ventilasjonsluften. I tillegg til god utnyttelse av alternative fornybare energikilder, vil et lavtemperatur varmeanlegg gi et godt inneklima samtidig som man uten problemer kan bruke de fleste tradisjonelle bygningsmaterialene i heteflatene. Riktig utført vil lavtemperatur varmeanlegg også være meget energieffektive. Dette setter imidlertid store krav til utførelsen. Med den teknologien man i dag har til rådighet, vil varmeavgivelsen med en vanntemperatur på ca. 30 °C fra aktuelle heteflater ligge i området 30 - 40 W/m² med en midlere lufttemperatur på 20 °C. Det betyr et maksimalt temperaturtap fra vannet til overflaten på heteflaten på 6 – 7 °C under dimensjonerende forhold. Da temperaturtapet er direkte proporsjonalt med spesifikk varmeavgivelse fra heteflatene, er det enn fordel at heteflatene er så store som mulig. Dette er spesielt viktig i eksisterende bebyggelse med større varmebehov. Det arbeides stadig med å utvikle nye og forbedrede løsninger for redusere temperaturtapet ytterligere. Samtidig er det viktig å unngå at varmeanlegget blir for varmetregt og dermed vanskelig å regulere. Det er derfor utviklet en rekke typer lette løsninger med liten varmekapasitet der man bruker godt varmeledende materialsjikt til å fordele varmen fra rørene over heteflaten. Disse løsningene har liten byggehøyde og egner seg også godt i rehabiliteringsøyemed der det kan være behov for å forbedre varme- og lydisolasjonen. En annen fordel med lette løsninger er at de er relativt lett å komme til hvis det skulle oppstå skader eller andre problemer med varmeanlegget.

Varmeavgivelsen fra gulv- vegg og takvarmeanlegg vil være forskjellig selv om overflatetemperaturen er den samme [1][2]. Da det normalt stilles færre funksjonskrav til vegg- og tak-kledninger enn til gulvbelegg og gulvkonstruksjoner, vil det ofte være enklere å oppnå lavt temperaturtap fra varmerørne til heteflaten for vegg- og takvarme. Dette vil til dels kunne kompensere for noe redusert varmeavgivelse, spesielt fra takvarmeanlegg, slik at det ikke blir nødvendig å øke vanntemperaturen for å oppnå samme varmeavgivelse. Når det gjelder ettervarming av ventilasjonsluften forutsette dette installasjon av balansert ventilasjon med varmeveksler. Det er imidlertid relativt begrenset hvor stor varmetilførsel man kan tilføre ventilasjonsluften. Hvis man ønsker å unngå overtemperaturer på tilluften vil varmetilskuddet være begrenset til 2 - 4 W/m² gulvflate med de krav til tilluft man har i dag. Plassering av tilluftsventiler og varmeanlegg vil avgjøre om man i kortere perioder kan tillate noe høyere tilluftstemperaturer og stadig opprettholde tilfredstillende ventilasjon. Ettervarming av ventilasjonsluften for å kompensere for ventilasjonstapet har hurtig responstid og kan derfor brukes til å oppnå bedre temperaturkontroll. Man kan også montere tilluftsventiler i tilknytning til vegg- og takvarmeanlegg og dermed øke den konvektive varmeavgivelsen fra disse heteflatene. Dette vil også innebære en form for forvarming av ventilasjonsluften.

2. Forutsetninger for å kunne utnytte lavtemperaturvarme

Nybygg

Et dimensjonerende varmebehov på 30 – 40 W/m² gulvflate vil for nye bygninger kreve noe høyere isolasjonsstandard enn det som er angitt i dagens byggeforskrift. Med bruk av varmegjenvinning av ventilasjonsluften, vil det for nybygg være tilstrekkelig å forbedre

vinduer og vegger. Man kan i dag produsere to-glassvinduer med U-verdi i området 1,1 - 1,2 W/m². Tilsvarende kan man redusere U-verdien fra 0,26 W/m²K for en 150 mm vegg, som er vanlig i dag, til 0,14 - 0,16 W/m²K for en vegg med tykkelse 230 - 250 mm avhengig av utførelsen. Ved å øke veggtykkelsen vil man samtidig redusere kuldebroen mellom vegg/fundament og ringmurstopp/gulvflate, se fig. 2.1. Når heteflatene anlegges på klimaskjermen er det av avgjørende betydning ved bruk av vannbåren varme at man unngår enhver form for kuldebroer. Dette er en forutsetning for at varmeanlegget kan utnyttes til oppvarmingsformål og ikke bare til å kompensere for lokale kuldebroer eller dekke et økt varmetap. Det er generelt viktig at hele heteflaten bidrar aktivt til varmetilførselen til rommet. Dette er særlig viktig for vannbårne lavtemperatursystemer med begrenset vanntemperatur. Det betyr at heteflatene ikke må dekkes av tepper, møbler, eller annet som begrenser varmeavgivelsen. I denne sammenhengen er takvarme fordelaktig fordi takflaten normalt vil være fritt eksponert.

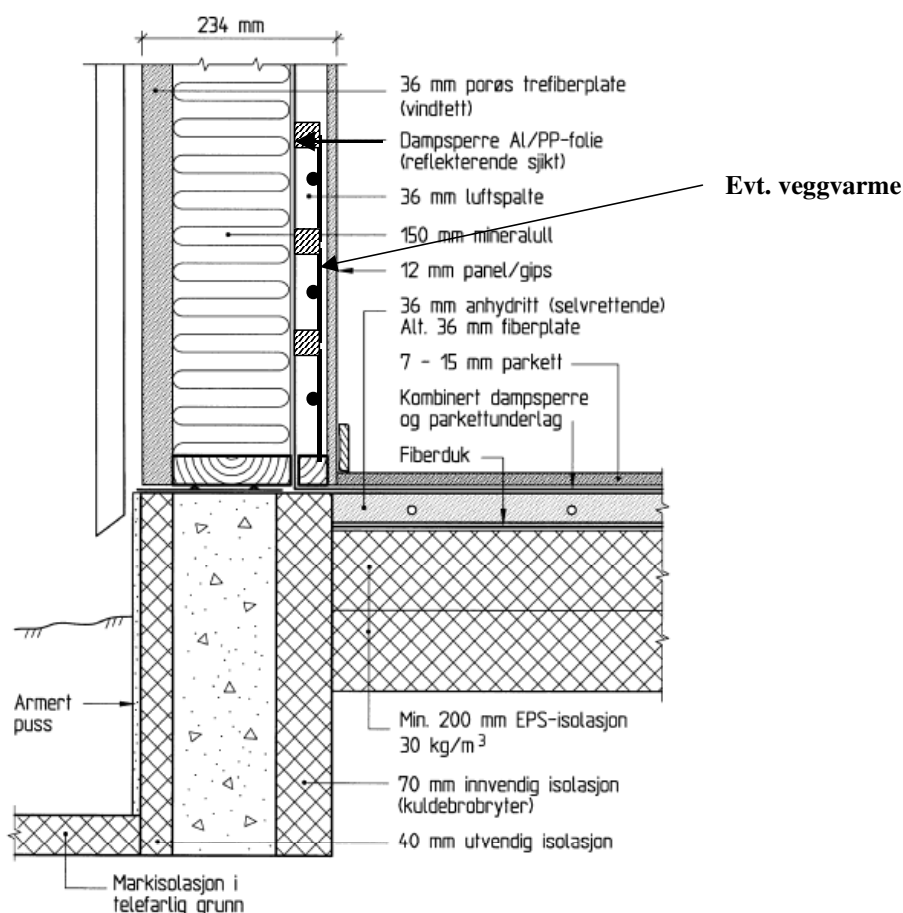


Fig. 2.1. Det er viktig å unngå kuldebroer unngå tilleggsvarmetap når lavtemperatur varmeanlegg plasseres på klimaskjermen. Ved bruk av gulvvarme for gulv på grunnen er dette spesielt viktig ved overgang gulv/vegg/ringmur der veggtykkelsen ikke bør være for liten. Den viste veggutførelsen har en bredde på 234 mm og en U-verdi ≈ 0.16 W/m²K. Den nedre del av veggen kan også utføres med veggvarme. Man bør da alltid montere et varmereflekterende dampsperresjikt eller tilleggsisolere den delen av veggen som er utstyrt med veggvarme.

Eksisterende bebyggelse

For eksisterende bebyggelse vil det normalt være urealistisk å komme ned på et spesifikt varmebehov på 30 – 40 W/m²K gulvflate. Det betyr at det må etableres større heteflater hvis lavtemperaturvarmeanlegget skal dekke hele varmebehovet. Med mindre man bare ønsker at varmeanlegget skal tilfredsstillende et komfortbehov eller utgjøre en basisvarme, er det ikke tilstrekkelig bare å bruke gulvflaten som heteflate. Man kan for eksempel i tillegg til gulvvarme bruke deler av veggflaten til veggvarme og tilsvarende himlingen til takvarme. Det er derfor viktig å utvikle enkle løsninger for å etablere disse heteflatene. Heteflatene bør inngå som integrerte elementer i bygningskonstruksjonen der man samtidig oppnår andre ønskede effekter. Dette kan være å forbedre isolasjonen av klimaskjermen, utskiftning av veggkledning, forbedring av lydisolasjonen i etasjeskillere, nye innervegger, etc. Man oppnår dermed å få flere kostnadsbærere slik at tilleggskostnadene for å etablere heteflatene vesentlig begrenses til rør og ulike typer varmefordelingssjikt.

Når det etableres heteflater på klimaskjermen bør man som en generell regel unngå tilleggsvarmetap på grunn av overtemperaturer. Dette krever ekstra isolasjon og favoriserer løsninger med liten varmemotstand fra varmefordelingssjiktet til heteflaten. Det tilbys i dag løsninger med meget liten byggehøyde, men disse har ingen eller bare beskjeden tilleggisolasjon. Løsningene bør fortrinnsvis brukes i etasjeskillere og innervegger der man kan utnytte hele varmetilførselen. Dårlig isolerte gulv på grunnen, ofte med betydelig kuldebro i randsonen med resulterende kalde gulv, bør generelt tilleggsisoleres før man etablerer et gulvvarmeanlegg. Tilsvarende gjelder for dårlig isolerte yttervegger og tak. I spesielle tilfeller der heteflater i lavtemperaturvarmeanlegg monteres på klimaskjermen i eksisterende bebyggelse kan deres primære oppgave være å kompensere for kuldebroer og dermed sikre et tilfredsstillende innklima. Dette er løsninger som fortrinnsvis bør unngås da de vil føre til et økt varmetap. Da det i rehabiliteringssammenheng ofte kan være et ønske om å bevare karakteristiske vindusutforminger kan det være nødvendig med varmekilder for eksempel veggvarme under vinduer for å unngå kaldras.

3. Eksempler på utførelse

Figur 3.1 viser etasjeskillere med gulvvarme og trinnlydisolasjon, takvarme integrert i en nedsenket lydhimling og veggvarme i en egen brystningsvegg eller i nedre deler av en tilleggsisolert vegg.

Veggvarme

Figur 3.1 viser veggvarme integrert i en brystningsvegg og integrert i nedre del av en vanlig vegg. Ved å montere veggvarmeanlegget i tilknytning til en brystningsvegg vil man lett se hvilke deler av veggen som er utstyrt med veggvarme. Dette kan være en fordel for å unngå skader på rørene hvis man uforvarende skulle spikre i veggen.

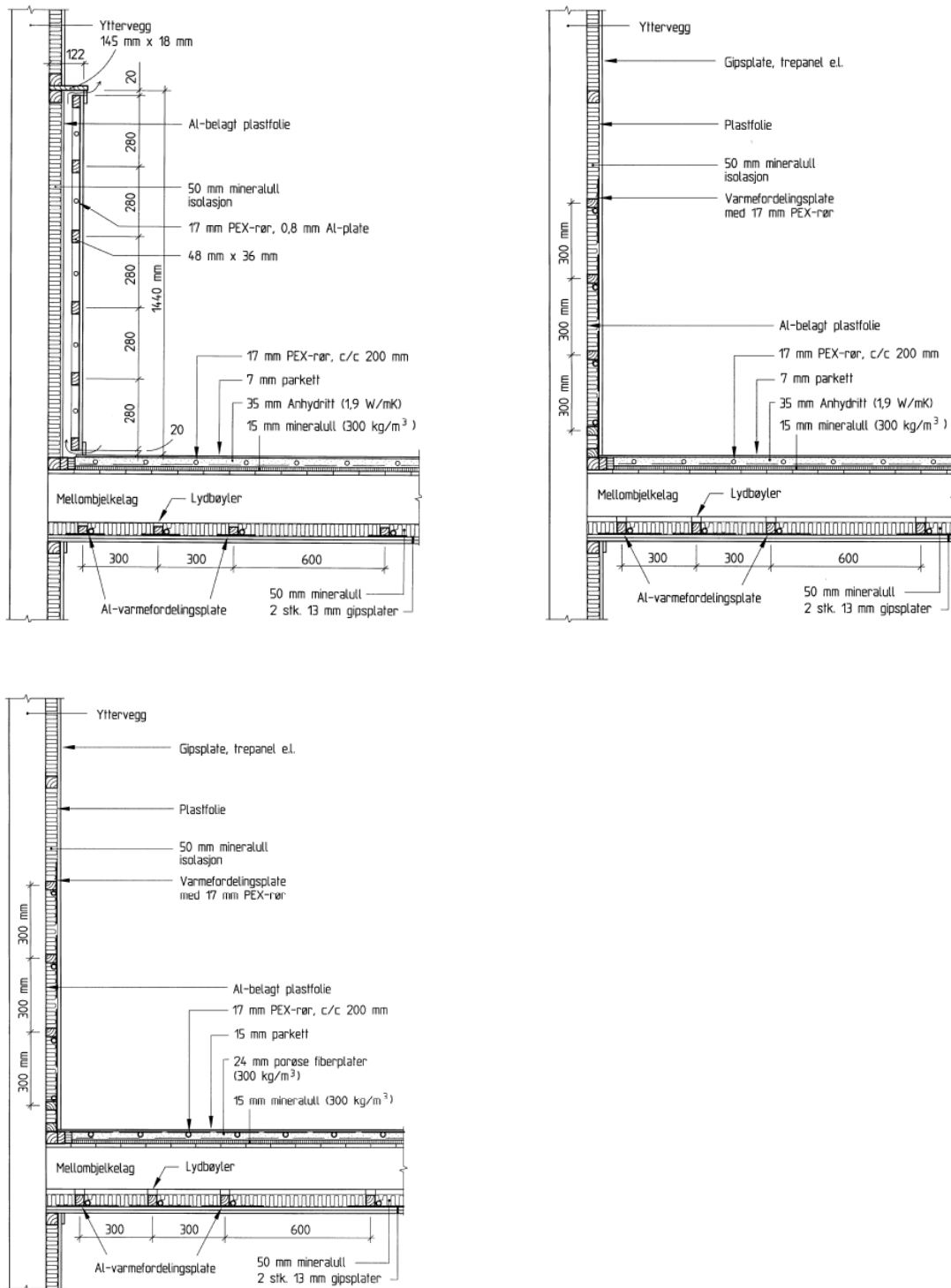


Fig. 3.1. Veggvarme i kombinasjon med innvendig tilleggsisolasjon og gulv og takvarme i kombinasjon med trinn- og luftlydisolasjon. Det er brukt to utførelser av veggvarmeavlegget. Ett tilfelle med brystningsvegg og det andre integrert i nedre del av veggkonstruksjonen. Det er også brukt to typer gulvvarme en tung og en lett utførelse begge kombinert med trinnlydisolasjon.

Ved å tillate en luftgjennomgang i spalten mellom isolasjon og heteflate vil man kunne øke varmeavgivelsen fra veggen med ca. 5 % [2]. For å unngå støvansamling inne i veggen kan man eventuelt legge en relativt åpen filterduk el. i luftinntaket ved gulvet. I brystningsveggen er det i tillegg til 50 mm mineralull lagt inn et reflekterende dampsperrsjikt i hulrommet bak heteflaten mot tilleggsisolasjonen for ytterligere å redusere varmetapet. For å få full effekt av det reflekterende sjiktet bør brystningsveggen da være lukket. Det reflekterende sjiktet vil fullt ut kompensere for en tosidig luftstrømning mot varmfordelingsplatene. For å unngå skader på varmerørene er det bare nedre del av veggen som tjener som heteflate. Begge utførelser er kombinert med innvendig tilleggsisolasjon når heteflatene plasseres på yttervegger.

Gulvvarme kombinert med trinnlydisolasjon, lett og mellomtung løsning

Figur 3.1 viste et gulvvarmeanlegg med bruk av selvjevnende anhydritmasse som varmfordelingssjikt. Anhydritmassen med varmeledningsevne $1,9 \text{ W/mK}$ legges ut med en tykkelse på ca. 35 mm over 15 mm tunge mineralullplater som tjener som effektiv trinnlydisolasjon. Fordelen med anhydritmassen og andre selvjevnende støpemasser er at man står langt friere når det gjelder valg av leggemønster for gulvvarmerørene. Man får full varmeavgivelse fra hele rørrettet også de deler som ikke legges med rettstrekk. For flytende gulvløsninger med mineralull som trinnlydisolasjon, kan varmerørene for eksempel festes til et armeringssnett. Det er viktig for å sikre god trinnlyddempning at man unngår direkte kontakt mellom anhydrit og undergulv.

Da den selvjevnende anhydritmassen har relativ høy romvekt 1900 kg/m^3 i tørr tilstand, vil en 35 mm tykk påstøp påføre bjelkelaget et tilleggslast på 67 kg/m^2 . Bruk av relativt tunge selvjevnende masser kan være problematisk i eldre, eksisterende bebyggelse der man ofte har problemer med relativ stor nedbøyningen av bjelkelaget. I disse tilfellene kan det være nødvendig å bruke en lett gulvvarmeløsning, fig. 3.2. Man unngår samtidig å tilføre bygget fuktighet som krever tid for uttørking.

For å oppnå god trinnlydisolasjon og samtidig sikre at en vesentlig del av varmen tilføres rommet over gulvvarmeanlegget, legges først ut et sjikt med 10-15 mm tunge mineralullmatter (300 kg/m^3). I eksisterende bebyggelse vil mineralullisolasjonen også kunne tjene som et utjevningssjikt mot en noe ujevn overflate. Deretter legges 24 mm porøse trefiberplater med spor for Al-varmfordelingsplater og varmerør, fig. 3.3. Som alternativ løsning med trinnlydisolasjon kombinert med gulvvarme i etasjeskillere kan man bruke 36 mm porøse trefiberplater med spor for varmerør. For ytterligere å sikre god varmfordeling over gulvflaten kan man som glidesjiktet over varmfordelingsplatene bruke et etylen parkettunderlag pålimt Al-folie.

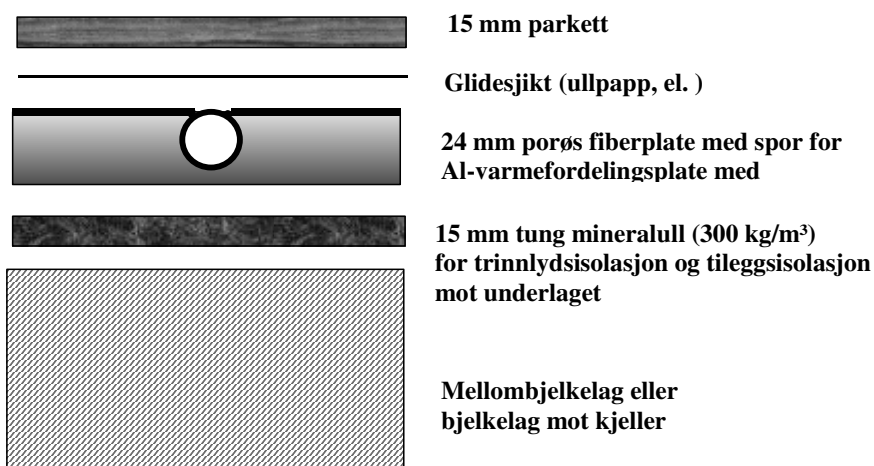


Fig. 3.2. Eksempel på lett oppbygging av gulvvarmeanlegg kombinert med trinnlydisolasjon i mellombjelkelag eller tilleggssisolasjon mot kald kjeller.

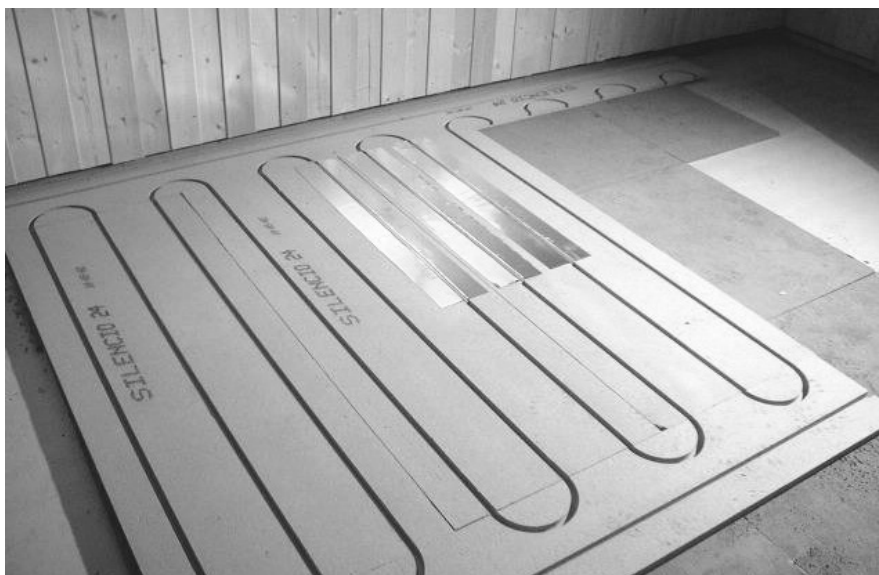


Fig. 3.3. Lett gulvvarmeutførelse med tung mineralullisolasjon (300 kg/m³) som trinnlyds- og tilleggssisolasjon og 24 mm porøse trefiberplater med spor for varmefordelingsplater i mellombjelkelag. Konstruksjonen er godt egnet både i ny og eksisterende bebyggelse og kan også brukes mot kald kjeller.

Detaljer for å sikre god varmeoverføring fra varmerør og varmefordelingsplater til heteflate

Både når det gjelder vegg- og takvarme som monteres i tilknytning til innvendig tilleggssisolasjon er det viktig å sikre god kontakt mellom varmefordelingsplatene og innvendig kledning, se fig 3.4. Med 280 mm brede varmefordelingsplater som er 0,5 mm tykke, kan man bruke en rør- og lekteavstand på 300 mm. Det er da ulike måter å feste varmefordelingsplatene til lektene. Metode **a** i fig 3.4 sikrer god ledende kontakt med innvendig kledning samtidig som man lettere kan unngå skader på rørene ved montering av kledningen. Isolasjonen virker da som et effektivt mothold når varmerørene skal presses inn i varmefordelingsplatene. Metode **b** egner seg godt i takvarmeanlegg spesielt i tilknytning til

lydisolasjon idet varmfordelingsplatene kan monteres før dempningsisolasjonen og holde denne på plass. Samtidig vil lektene (48x48 mm) tjene som mothold ved montering av varmerørene. Som innvendig kledning kan det være en fordel å bruke gipsplater idet disse har relativt høy varmeledningsevne 0,25 W/mK og tilsvarende lav varmemotstand. Ved bruk av trepanel bør tykkelsen fortrinnsvis ligge fra 9-12 mm for å redusere varmemotstanden til et minimum.

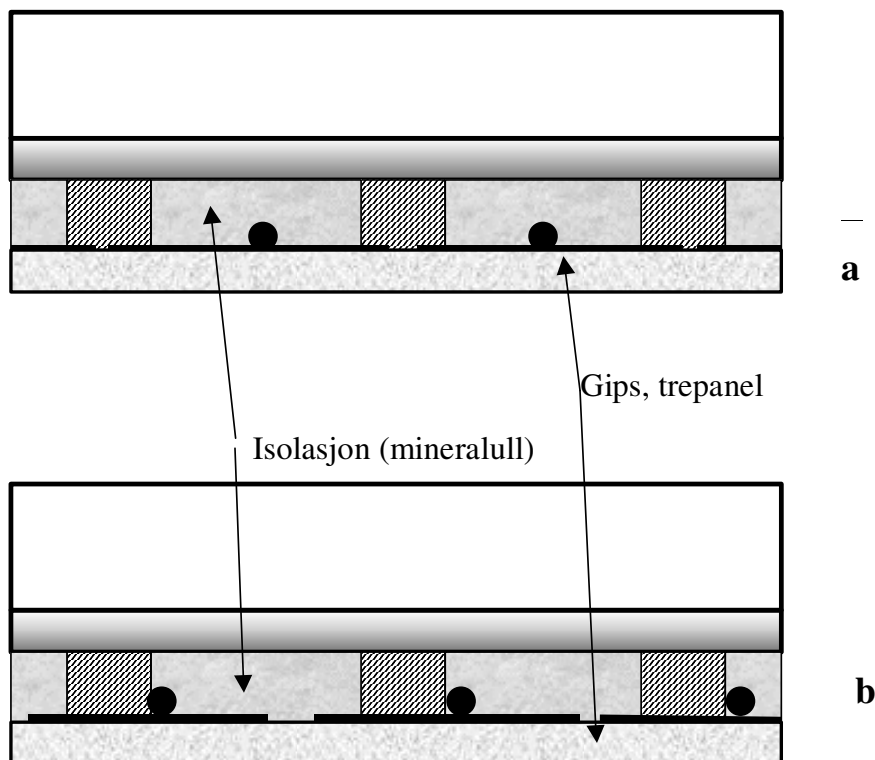


Fig. 3.4. Ulike måter få feste varmfordelingsplater til lekter ved innvendig isolasjon av yttervegger og -tak og samtidig sikre god ledende kontakt mellom varmfordelingsplater og kledning. De viste varmfordelingsplatene har en bredde på 280 mm og rør- og lekteavstand er 300 mm.



Fig. 3.5. Eksempel på veggvarmeanlegg der varmemfordelingsplatene er montert til lektene etter metode b i fig. 3.4.



Fig. 3.6. Eksempel på takvarmeanlegg i en skråhimling der varmemfordelingsplatene er montert etter metode a i fig. 3.4.

Tilleggisolering av heteflater på klimaskjermen

Vegg- og takvarme montert på klimaskjermen krever generelt tilleggisolasjon for å kompensere for tilleggsvarmetapet mot det fri fordi veggflaten blir varmere. Ved å etablere lavtemperatur heteflate på en relativt dårlig isolert klimaskjerm i eksisterende bebyggelse vil en betydelig del av varmetilførselen gå med til å kompensere for varmetapet. Ettermontering

av gulvvarme for å kompensere for kalde gulv på grunnen uten isolasjon, er eksempel på en uheldig løsning som bør unngås. Varmeoverskudd til å dekke det øvrige transmisjons- og ventilasjonstapet bør fortrinnsvis hentes fra heteflater plassert på innervegger eller mellombjelkelag i form av tak- eller gulvvarme. Det er derfor avgjørende for kunne dimensjonere et lavtemperatur varmeanlegg i eksisterende bebyggelse at man på bakgrunn av en gitt vanntemperatur kjenner samspillet mellom varmetap og hvor meget varme det er mulig å tilføre rommet fra ulike heteflater. Dette er nødvendig for å unngå for store varmetap og for å sikre tilfredsstillende varmekomfort. Hvis det ikke er mulig å øke vanntemperaturen, kan varmetilførselen til rommet økes ved å øke vannføringen eventuelt endre strømningsretningen, etablere flere heteflater, supplere med andre varmeanlegg eller generelt å redusere rommets varmebehov med tilleggisolering.

Eksempel på tilleggisolering av heteflater plassert på klimaskjermen

I det viste tilfellet med veggvarme i fig 3.1 er det tatt utgangspunkt i en eldre bygning med reisverksvegg og U-verdi ca. $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Veggene er tilleggisolert med 50 mm innvendig isolasjon. Med U-verdi $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil veggene ha et spesifikt varmetap på ca. 27 W/m^2 ved utelufttemperatur -10°C . Med 50 mm tilleggisolasjon reduseres U-verdien til $0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ og varmetapet til $12,6 \text{ W/m}^2$. Hvis lufttemperaturen i rommet er 20°C vil gjennomsnittlig innvendig overflatetemperatur på ytterveggen ligge på $16,5^\circ\text{C}$ for den uisolerte og $18,4^\circ\text{C}$ for den isolerte ytterveggen.

Ved bruk av lavtemperaturvarme vil turtemperaturen være begrenset til for eksempel 30°C . Det betyr at man har relativt liten overtemperatur tilgjengelig til å bringe heteflatens overflatetemperatur over innvendig lufttemperatur og dermed virke som en aktiv heteflate. Hvis man derimot bare ønsker at varmeanlegget skal kompensere for veggens varmetap vil man ha større temperaturdifferanse til rådighet.

For at en veggflate skal avgi 30 W/m^2 , krever dette en overtemperatur på veggflaten på ca. 4°C i forhold til romluften [2]. Det betyr en gjennomsnittlig overflatetemperatur på $24,0^\circ\text{C}$ når romlufttemperaturen er 20°C . Med 13 mm tykke gipsplater som veggkledning vil temperaturtapet fra varmfordelingsplatene til veggoverflaten være ca. $1,6^\circ\text{C}$.

Varmefordelingsplatene vil dermed ha gjennomsnittstemperaturen $25,6^\circ\text{C}$. Dette gir igjen et varmetap til det fri for den tilleggisolerte veggene med veggvarme på $15,8 \text{ W/m}^2$ med en utelufttemperatur på -10°C . Dette er lavere enn varmetapet fra den opprinnelige veggene. Samlet spesifikk varmeavgivelse fra heteflaten blir da $45,8 \text{ W/m}^2$, der ca. en tredjedel er varmetap til det fri. Med veggvarme øker varmetapet gjennom den tilleggisolerte ytterveggen med ca. $3,2 \text{ W/m}^2$. Dette er for øvrig i samme størrelsesorden som samlet varmetap fra et godt isolert gulv på grunnen med gulvvarme.

Ved å montere veggvarme i den aktuelle reisverksveggen uten tilleggisolasjon og med utelufttemperatur -10°C , ville varmetapet økes fra 27 W/m^2 til $38,3 \text{ W/m}^2$. Det forutsettes da at man ønsker å opprettholde en varmeavgivelse til rommet på 30 W/m^2 . Dette tilsvarer en økning i varmetapet til det fri på 42 %. Varmeanlegget spesifikke varmeavgivelse vil da ligge på hele $68,3 \text{ W/m}^2$. Dette tilsier en vesentlig høyere vanntemperaturer enn 30°C . Selv om varmeanlegget bare skal utligne varmetapet gjennom veggene uten å tilføre rommet tilleggsvarme, vil varmetapet øke fra 27 til $32,3 \text{ W/m}^2$. Dette viser at det er uakseptabelt å ettermontere heteflater på en dårlig isolert klimaskjerm.

Vannføring i varmerørene

I motsetning til elektriske varmekabler som har tilnærmet samme varmeavgivelse pr meter varmekabel vil vannbårne varmeanlegg få redusert varmeavgivelsen etter som vannet avkjøles i rørnettet. Det er også klare begrensninger i vannføringen på grunn av store trykktap.

Varmeavgivelsen Q fra vannet er bestemt av vannføringen q og temperaturdifferansen Δt på vannet inn og ut av rørnettet.

$$Q = q \cdot C \cdot \Delta t \cdot \rho \quad (1)$$

q = Vannføringen i rørnettet (l/s)

C = Vannets sp. varme ($4,2 \cdot 10^3$ Ws/kg °C)

Δt = Temp. diff. (°C) på vannet inn og ut av nettet.

ρ = Vannets densitet (kg/m³)

Hvis man i ovennevnte tilfelle har et rom med gulvareal 20 m² og to yttervegger på henholdsvis 5 og 4 m med 1,5 m høy brystning med veggvarme, vil aktiv heteflate være 13,5 m². Med en spesifikk varmeavgivelse fra heteflaten inkl. varmetap på 45,8 W/m², vil samlet varmeavgivelse være 618 W der 405 W tilføres rommet. For å unngå for store temperaturforskjeller og dermed forskjeller i varmeavgivelsen over heteflaten, tillates bare et temperaturfall over rørnettet på 2,0 °C. Ved å sette inn i ligning (1) bestemmes vannføringen til ca. 0,074 l/s. Ved en senteravstand mellom rørene på 300 mm gir dette en samlet rørlengde på 45 m. Ved bruk av 17 mm PEX rør med godstykkelse 1,5 mm gir dette en vannhastighet på ca. 0,5 m/s som gir et trykktap på ca. 350 Pa/m på rett rørstrekning, eller et samlet trykktap på ca. 19 kPa eller 0,19 bar når tilførselsledninger og enkeltmotstand i bøyer er regnet med.

Vannbårne systemer i en bolig består gjerne av en rekke parallelle kurser for å sikre individuell temperaturkontroll i de enkelte rom eller temperatursoner. Man får dermed kurser med varierende rørlengder og rørmotstand. For å kunne bruke en mindre pumpe og holde pumpeenergien nede, er det en fordel om det ikke er for stor forskjell i trykktap over de enkelte grenene. I ovennevnte tilfelle er trykktapet i rørnettet relativt stort. Ved å tillate en avkjøling på 3,0 °C vil vannføringen reduseres til ca. 0,05 l/s og vannhastigheten til 0,34 m/s. Dette gir et samlet trykktap på ca. 10 kPa eller 0,1 bar som er et mer akseptabelt trykktap. Ved å tillate noe større avkjøling av vannet vil man samtidig redusere varmeavgivelsen. Dette viser at det er en klar kobling mellom varmeavgivelse til rommet og varmetap. Uansett valg av energikilde bør man utnytte tilgjengelig flater, og da fortrinnsvis innervegger og etasjeskillere, til å øke samlet areal på heteflatene og dermed kunne redusere vanntemperaturen eller vannføringen.

Rørmønster

Ved å tillate noe større temperaturtap over rørstrekket vil valg av rørmønster ha betydning for varmedelingen over heteflaten. Med mindre varmerørene legges ned i sparkelmasser eller betong, vil det vanlige være å bruke et enkelt S-mønster både for gulv-, vegg, og takvarme. Her vil valg av strømningsretningen kunne ha betydning for varmeavgivelsen. For å få størst mulig varmeavgivelse til rommet og minst varmetap til det fri, bør turvannet først tilføres områder med lavt varmetap. Deretter kan vannet tilføres områder med kuldebroer der man kan opprettholde en akseptabel overflatetemperatur ved å kompensere for varmetapet, men der denne delen av heteflaten ikke bidrar til å dekke rommets øvrige varmebehov.

Bruk av reflekterende dampspærresjikt

Når det gjelder å montere heteflater i vegger og tak på nye, godt isolerte hus kan det rent varmetapsmessig være tilstrekkelig å bruke et reflekterende dampspærresjikt i hulrommet mellom varmfordelingsplatene og isolasjonen. For å sikre god kontakt mellom varmfordelingsplater og vegg/takkledning vil det generelt være en fordel å fylle hulrommet med isolasjon. På innervegger er tilleggisolasjon ikke nødvendig hvis rommene på begge sider er oppvarmet. Hvis man ønsker at en vesentlig del av varmen skal avgis til tilstøtende rom kan man montere en varmereflekterende folie bak lektene for varmfordelingsplatene. Fordelen med å montere veggvarmeanlegget på yttervegger er at man minsker strålingsasymmetrien i rommet. Dette er særlig viktig for eksisterende bebyggelse der man ofte har relativt dårlig isolerte vegger og vinduer. Veggvarme under vinduer vil også kunne forhindre kaldras.

Eksempel på lydhimling med takvarme

Utførelsen med varmfordelingsplater og varmerør i himlingen kan med fordel brukes i nybygg og i eksisterende bebyggelse der man ønsker å forbedre lydisolasjonen. Ved å bruke etasjeskilleren som heteflate for gulv- og takvarme, unngår man tilleggsvarmetap til det fri. Ved å montere veggvarme i nedre deler av tilleggisolerte yttervegger, og da særlig under vinduer, reduserer man kaldras fra dårlig isolerte vinduer. Dette kan være et problem i eksisterende bebyggelse der man ønsker å beholde opprinnelige vinduer. Varmeanleggene i mellombjelkelaget inngår som en integrert del av bygningskonstruksjonen og medfører relativt beskjedne tilleggs kostnader.

De valgte løsningene med å kombinere lydisolasjon og heteflater som vist på fig. 3.1 egner seg spesielt godt for eksisterende bebyggelse der lydisolasjonen i lette bjelkelag er meget dårlig. Det er særlig viktig å forbedre luftlydisolasjonen ved å anlegge nedsenket himling. Den viste løsningen reduserer takhøyden med 70 – 90 mm. Dette vil normalt ikke by på problemer i eldre bebyggelse med takhøyder på 2,5 – 2,8 m. Hvis man fjerner den gamle himlingen og fester lydbøylene, fig. 3.5, direkte til gulvbjelkene er det mulig å begrense reduksjonen av takhøyden til ca. 50 mm. Det er imidlertid vesentlig enklere å beholde himlingen og montere sekundærlektene og lydbøyer til denne, se fig. 3.6 og 3.7. Hvilken metode som velges vil også være avhengig av himlingsmaterialene og eventuelle fyllmasser i mellombjelkelaget.

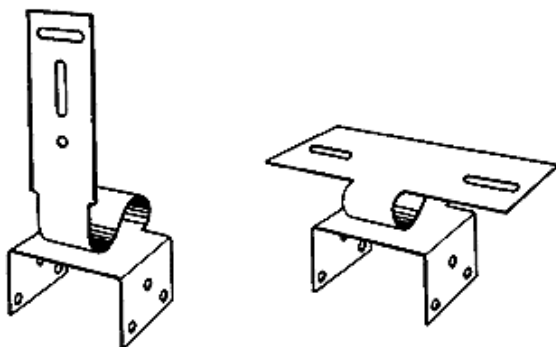


Fig. 3.5. Lydbøyer for montering av sekundærlekter.



Fig. 3.6. Montering av sekundærlektene med lydbøyer i eksisterende himling.

Det vanlige er å montere sekundærlektene i tilknytning til luftlydisolasjon i lette bjelkelag med en senteravstand på 600 mm. Hvis takvarmeanlegget for eksempel skal supplere et gulvvarmeanlegg med utilstrekkelig kapasitet kan det være tilstrekkelig å legge varmerørene med en senteravstand på 600 mm. Kostnadene til takvarmeanlegg vil da vesentlig begrense seg til varmfordelingsplater og varmerør. Fordelen med takvarme er at man komfortmessig ikke har samme begrensninger når det gjelder temperaturfordeling som for gulvvarmeanlegg. For gulvvarmeanlegg er en røravstand på 600 mm helt uakseptabelt og vil gi for store temperaturforskjeller på gulvoverflaten.

Ønskes noe større varmeavgivelse kan det være hensiktsmessig å halvere senteravstanden til 300 mm for en del av himlingen mot yttervegger, se fig 3.7. Dette har ingen lydtekniske ulemper. For å dempe lydnivået i hulrommet over sekundærlektene benyttes vanlig mineralullisolasjon i dette tilfellet med tykkelse 50 mm, se fig. 3.8. Hensikten med denne isolasjonen er primært å dempe lydnivået i mellomrommet mellom sekundærhimlingen og den eksisterende himlingen. Isolasjonen vil også bidra til å sikre at en vesentlig del av varmen avgis nedover til det tilstøtende rommet. For ytterligere å sikre at varmen avgis nedover kan det monteres en reflekterende folie på eksisterende himling over mineralullen. Denne folien bør alltid brukes hvis takvarmeanlegget monteres mot yttertak.



Fig. 3.7. Ved større varmebehov må avstanden mellom rørene reduseres. I dette tilfellet varierer røravstanden mellom 200 og 300 mm. For å sikre at en vesentlig del av varmen avgis til rommet er det lagt inn et reflekterende sjikt i hulrommet over isolasjonen.

Varmefordelingsplatene vil holde mineralullisolasjonen på plass. Det er tilstrekkelig å feste platene til sekundærlektene på en side, se fig. 3.4. Varmefordelingsplatene er av type omegaplater her med en bredde på 280 mm og er beregnet for 17 mm PEX-rør. For mindre røravstand enn 300 mm brukes smalere varmfordelingsplater. Rørmonteringen forenkles betydelig ved å fikse røret i bjelkeenden ved plaststrips. En person har ingen problemer med å montere takvarmeanlegget alene.

Figur 3.9 viser ferdig montert mineralullisolasjon og varmfordelingsplater med varmerør. Vekten av isolasjonen sikrer god kontakt med gipsplatene som skrues opp i sekundærlektene. Det vanlige til luftlydisolasjon i lette bjelkelag er å bruke to lag 13 mm gipsplater. Det er selvfølgelig viktig å merke plasseringen av sekundærlektene for å unngå skader på varmerørene.



Fig. 3.8. Isolasjonen i hulrommet over sekundærlektene holdes på plass av varmefordelingsplatene for varmerørne.



Fig. 3.9. Lydhimling med varmefordelingsplater, varmerør og dempningsisolasjon. Gipsplater festes deretter til sekundærlektene med skruer.

Tilsvarende som for gulvvarme er det mulig å prefabrikkere takvarmeanlegg for å forenkle monteringen. Man kan for eksempel bruke 24 mm porøse trefiberplater med spor som for gulvvarmeanlegg der man limer fast varmefordelingsplatene i aluminium, se fig. 3.10. Varmefordelingsplatene er formet slik at disse fikserer røret og sikrer dermed en enkel rørmontering. Trefiberplatene og himlingsplatene skrues fast til sekundærlektene eller den eksisterende himlingen. Denne utførelsen egner seg spesielt godt i de tilfeller der man ikke har behov for lydisolering og ønsker minst mulig byggehøyde. I områder av rommet der man ønsker mer varme, for eksempel ved yttervegger med større vinduer, kan man enkelt redusere

røravstanden til 200 mm. Samlet byggehøyde for takvarmeanlegget med 12 mm gipsplater som himlingsplater er da 36 mm.

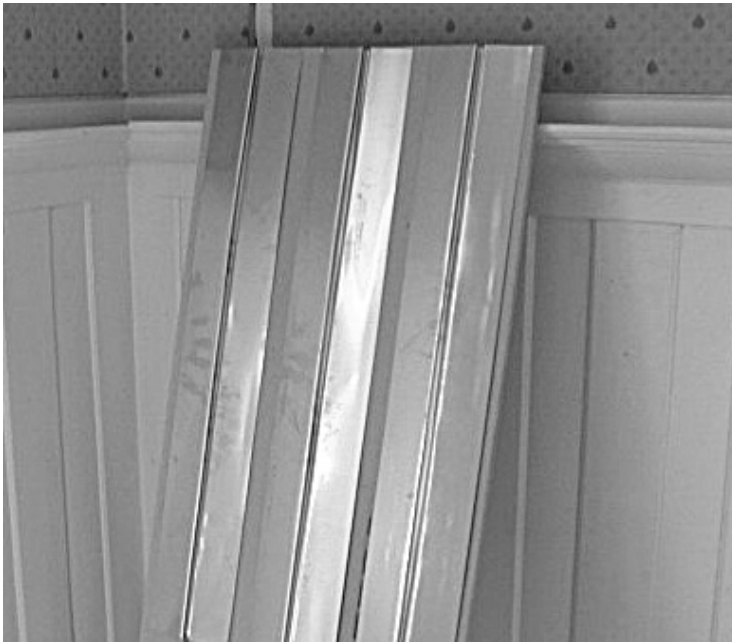


Fig. 3.10. Prefabrikkerte porøse trefiberplater pålimt varmefordelingsplater for montering i himlingen. Aktuell røravstand er 200 og 300 mm.

Etterisolering av kalde loft kombinert med takvarme

En rekke boliger bygget i Norge på 60- og 70-tallet har takstoler og kaldt loft. Det vanlige var å isolere bjelkelaget med 150 mm mineralullisolasjon, gjerne dekket med løs, pålagt forhudningspapp. Dette gir en takkonstruksjon med U-verdi på ca. $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det kalde loftet er normalt lett tilgjengelig via en takluke. Det er derfor relativt enkelt å montere et takvarmeanlegg og samtidig foreta en tilleggisolering, se fig 3.11. For å sikre god kontakt mot eksisterende himling kan det med fordel brukes en type varmefordelingsplater der det er limt på en profil for feste av varmerørene, se fig. 3.12. Disse varmefordelingsplatene har tykkelse 0,8 mm og bredde 280 mm og skrues fast til himlingen. Det er plass til to plater i hvert mellomrom mellom takbjelkene. Det foretas deretter en tilleggisolering med 150 mm mineralullisolasjon slik at samlet isolasjonstykkelse blir 300 mm. U-verdien for takkonstruksjonen vil reduseres fra $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ til $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Fig. 3.11. Bolig fra 1968 med kaldt loft og takstoler. I dette tilfellet er de brukt 150 mm mineralull isolasjon dekket med forhudningspapp.

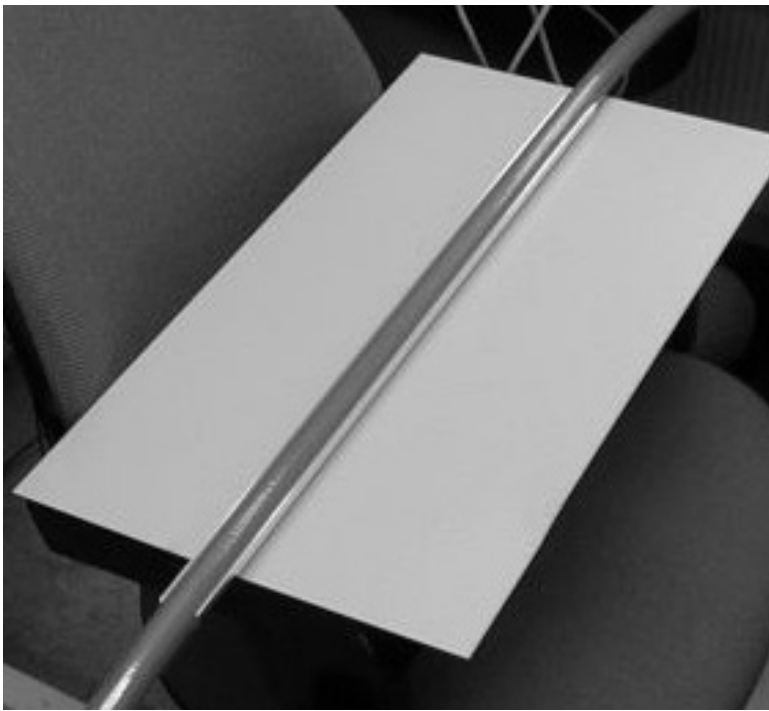


Fig. 3.12. 0,8 mm tykk Al varmefordelingsplate med pålimt Al profil for feste av varmerør.



Fig. 3.13. Det er plass til to varmefordelingsplater som skrus fast til den eksisterende himlingen og fyller hele mellomrommet mellom takbjelkene. Isolasjonstykkelsen økes fra 150 til 300 mm.

Det kan være ulike typer materialer som er brukt som himling i eksisterende bygninger. Det er imidlertid relativt vanlig med 15 mm tykke panelbord som gir en varmemotstand fra varmefordelingsplatene til himlingsoverflaten på $0,125 \text{ m}^2\text{K/W}$. Med en gjennomsnittlig varmeavgivelse på 30 W/m^2 gir dette et temperaturløstap på $3,8 \text{ }^\circ\text{C}$ fra varmefordelingsplatene til himlingsoverflaten. Da varmeavgivelsen fra takflaten til rommet er mindre enn for gulvvarmeanlegg, vil en spesifikk varmeavgivelse på 30 W/m^2 kreve en overtemperatur på himlingen på ca. $5 \text{ }^\circ\text{C}$ i forhold til romtemperaturen, se fig. 4.2. Med en romtemperatur på $20 \text{ }^\circ\text{C}$ vil himlingen ha en overflatetemperatur på $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Gjennomsnittlig temperatur på varmefordelingsplatene vil da i dette tilfellet være $28,8^\circ\text{C}$. Med en temperatur på loftet på $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ vil varmetapet være ca. $5,8 \text{ W/m}^2$. Uten tilleggisolasjon og takvarme vil tilsvarende varmetap ligge på ca. $7,0 \text{ W/m}^2$. Det er da forutsatt at man har en temperatursjiktning i rommet på et par grader. Man har dermed tilfredsstilt forutsetningen om at et varmeanlegg på klimaskjermen ikke skal føre til økt varmetap. Det å plassere heteflatene i himlingen mot et kaldt loft, har den fordelen at det er lettere å foreta tilleggisolering. Samtidig vil temperaturen på et kaldt loft normalt være høyere enn for en ytre tak- eller veggflate. Man reduserer avkjølingen i loftet på grunn av redusert stråling og redusert konvektiv varmeavgivelse fra isolasjonsoverflaten som må dekkes med papp el. Til tross for god ventilasjon vil også noe av varmeavgivelsen fra taket i perioder kunne heve lufttemperaturen på loftet.

4. Varmeavgivelse fra takvarmeanlegg

Da takvarmeanlegg vesentlig avgir varme med stråling, som i oppvarmingssammenheng er gunstig, vil det kreve noe høyere overflatetemperaturer på takflaten for å oppnå samme varmeavgivelse som fra gulv- og veggvarmeanlegg. Det betyr ikke nødvendigvis at det kreves høyere vanntemperatur i takvarmeanlegget for å oppnå samme varmeavgivelse som for vegg- og gulvvarmeanlegg. Da luften har liten evne til å absorbere strålevarme, vil all varmeutveksling med romluften foregå som konveksjon uansett varmesystem.

Takvarmeanlegget vil derfor bidra til å heve både vegg- og gulvtemperaturen noe som er ønskelig for å sikre mer homogene termiske forhold som igjen er en nødvendig forutsetning for god komfort med lavest mulige lufttemperatur. Hvor høy den ideelle lufttemperaturen skal være vil også være bestemt av luftbevegelsen i rommet. Samspillet mellom ventilasjonssystem og takvarme er derfor viktig og kan samtidig øke effektiviteten av takvarmeanlegget vesentlig. Dette er også viktig for å unngå kaldras fra dårlig isolerte vinduer.

Takvarme kan ikke kompensere for et utilstrekkelig isolert og kald gulvoverflate. Gulv på grunnen vil normalt ha et varmetap over hele året som vil gi overflatetemperaturer som ligger under lufttemperaturen. Tilfredsstillende overflatetemperatur kan bare oppnås ved å bruke gulvvarme eller tilleggisolere gulvet. Men gulvvarme i et dårlig isolert gulv på grunnen vil kunne føre til et betydelig økt varmetap og høyere energiforbruk [1]. I spesielle tilfeller kan det være vanskelig eller urimelig kostbart å tilleggisolere eller utbedre kuldebroer i gulvkonstruksjonen i eksisterende bebyggelse. Det kan da forsvares energimessig å bruke gulvvarmeanlegget til å sikre tilfredsstillende temperaturer på gulvoverflaten. Gulvvarmeanlegget bør da kun brukes til å gi tilfredsstillende overflatetemperatur på gulvet, og ikke til å varme opp rommet. Det behøves da en annen varmekilde, for eksempel takvarme. Nå vil det ikke bare være gulvtemperaturen, men også gulvmaterialene som har betydning for hva som oppfattes som god komfort. Keramiske fliser krever gjerne noe høyere overflatetemperatur for å gi tilfredsstillende komfort.

Det er relativt stor usikkerhet knyttet til fastsettelse av den konvektive varmeavgivelsen fra en varm takflate. I utgangspunktet har man en termisk stabil tilstand, og det vanlige er å anta en konvektiv varmeavgivelse fra takflaten som bare er 10 – 20 % av tilsvarende for en oppvarmet gulvflate. Imidlertid vil deler av gulvflaten ofte være dekket av møbler, skap, etc. som vil kunne begrense gulvets effektive heteplate og dermed redusere varmeavgivelsen. Dette vil normalt ikke være tilfellet med takflaten. Den konvektive varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget vil også kunne forbedres betydelig ved å øke luftsirkulasjonen i rommet. Dette kan oppnås ved å bruke balansert ventilasjon og gunstig plassering av tilførselsventiler for friskluft. En gunstig plassering av tilluftsventilene vil være høyt oppe på veggen eller i himlingen der man kan nyttiggjøre klebeeffekten langs takflaten (Coandaeffekten). Man oppnår da samtidig en effektiv blanding av kald og varm luft. I eksisterende bebyggelse, uten balansert ventilasjon, kan også en vifte blåse luft langs takflaten for å øke den konvektive varmeavgivelsen.

En fordel med takvarme i forhold til gulvvarme er at man står noe friere når det gjelder valg av varmeteknisk gunstige materialer i himlingen. Man kan også tillate noe dårligere temperaturfordeling og dermed større temperaturdifferanser over takflaten uten at dette går utover komforten. Det er vanlig i lydhimlinger å bruke gipsplater som i varmeteknisk sammenheng er gunstig idet varmeledningsevnen ligger på 0,25 W/mK mot 0,12 W/mK for vanlig trepanel eller treplater. Oppbyggingen av takvarmeanlegget kan også gjøres relativt lett slik at responstiden for oppvarming blir lav (≤ 15 min.).

Temperaturbegrensninger og komfort

Tradisjonelt har det vært et krav at temperaturen på takoverflaten ikke bør overstige 30 °C under dimensjonerende forhold. Dette begrenser maksimalt avgitt varmeeffekt til ca. 60 W/m². Også dette temperaturkravet ligger opp mot yttergrensen av det som oppfattes som gunstig temperaturforhold, se fig. 4.1. Med en ubalanse i strålingsasymmetrien på 10 °C som

for eksempel svarer til en taktemperatur på 30 °C og overflatetemperatur på gulvet på 20 °C, forventes en andel misfornøyde på ca. 20 % som er relativt høyt.

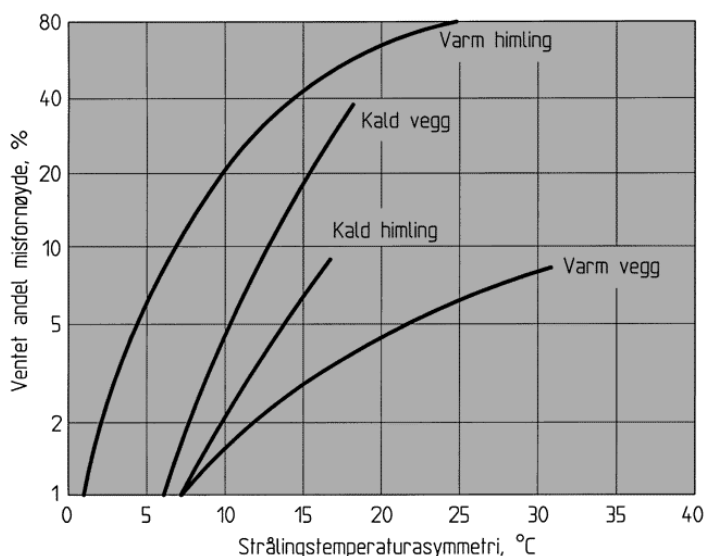


Fig. 4.1. Prosentvis misfornøyde som funksjon av strålingsasymmetrien.

Ved utnyttelse av lave vanntemperaturer (30 °C) vil varmeavgivelsen være vesentlig mindre, i størrelsesorden 20 - 30 W/m². Med en romlufttemperatur på 20 °C gir dette en overflatetemperatur på taket på 24 - 25 °C. Tilsvarende overtemperatur for et gulvvarmeanlegg for å avgi 30 W/m² vil være 23 - 24 °C. Både for golv- og takvarmeanlegget vil man med disse overflatetemperaturene ligge godt innenfor de grenser man normalt angir for gode komfort forhold. Et varmetilskudd fra varmeanleggene på 30 W/m² gulvflate tilsvarer varmebehovet man har i godt isolerte boliger. Lavtemperatur takvarmeanlegg kan derfor brukes som eneste varmeanlegg i lavenergiboliger, og som basisvarme i eksisterende bebyggelse som må suppleres med andre varmekilder.

Varmeavgivelse

Figur 4.2 viser relativt konservative beregninger av varmeavgivelsen fra golv- og takvarmeanlegg når lufttemperaturen er 20 °C. Det er forutsatt at strålingsandelen fra golv- og takvarmeanlegget er den samme, mens det konvektive varmeovergangstallet h_c kan forenklet uttrykkes som:

$$h_c \approx k \cdot \Delta t^{0,3}$$

Der k kan settes lik 2 for gulvvarme og 0,4 for takvarme. Varmeputen som dannes under taket reduserer derfor den konvektive andelen av varmeutvekslingen til bare 20 % av tilsvarende for gulvvarmeanlegg.

Den nominelle varmeavgivelsen fra gulvflaten i gulvvarmeanlegg som er brukt i internasjonale standarder (EN 1264) ligger ca. 20 % høyere enn verdiene angitt i fig. 4.2. Det skyldes at man regner med noe høyere andel konvektiv varmeavgivelse enn det man har med ren naturlig konveksjon i store rom. Imidlertid viser fig. 4.2 representative verdier når det

gjelder forskjellen mellom gulv- og takvarme uten spesielle tiltak som forbedrer den konvekktive varmeavgivelsen.

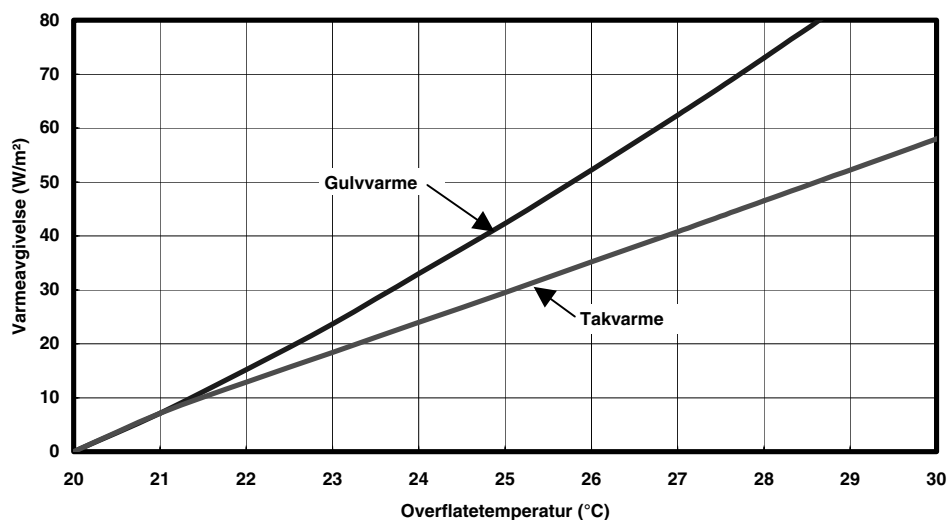


Fig. 4.2. Beregnet varmeavgivelse fra gulv- og takvarmeanlegg. Romtemperaturen er 20°C.

Det fremgår av fig. 4.2 at overflatetemperaturen for et takvarmeanlegg må være ca. 1,2 °C høyere enn for et tilsvarende gulvvarmeanlegg for at varmeanlegget skal ca. 30 W/m². Med dette betyr ikke nødvendigvis at man behøver å ha høyere vanntemperaturer for å få samme varmeavgivelse fra et gulv- og takvarmeanlegg. Hvis man har 15 mm parkett på gulvet vil dette med en varmeavgivelse på 30 W/m² gi et temperaturfall på 3,8 °C. Hvis man tilsvarende bruker en 12 mm gipsplate i himlingen vil temperaturtapet ligge på 1,4 °C. Selv med to gipsplater i en lydhimling vil temperaturtapet være ca. en grad lavere enn for 15 mm parkett. Dette betyr at varmeavgivelsen fra et tak- og gulvvarmeanlegg omtrent vil være den samme for samme vanntemperatur. En høyere overflatetemperatur på takflaten vil på grunn av takvarmeanleggets store strålingsandel øke overflatetemperaturen på gulvet, hvilket er gunstig.

Da takvarmeanlegget vesentlig avgir varme som langbølget stråling, samtidig som det ikke stilles samme krav til homogen temperaturfordeling over takflaten som for gulvvarmeanlegg, kan det være hensiktsmessig å bruke et dataprogram for lysfordeling fra lyskilder til rom for å fastlegge strålingsfordelingen i rommet. Langbølget stråling vil for en stor del bli absorbert og varme opp det materialet som strålene treffer. Strålingsintensiteten vil derfor være en viktig parameter for å fastlegge oppvarmingsgraden. Ved at takvarmeanlegget varmer opp både gulv og veggflatene vil man samtidig oppnå å få en mer effektiv konvektiv oppvarming av inneluften.

Hvis man grovt antar at 40 – 50 % av strålevarmen fra takvarmeanlegget avgis til gulvflaten betyr dette en varmetilførsel på 10 – 15 W/m². For et godt isolert gulv på grunnen med gjennomsnittlig varmetap på 2 – 3 W/m² vil man da få en overtemperatur på gulvet i forhold til lufttemperaturen i størrelsesorden 1,0 °C. Takvarmeanlegget vil også bidra til å senke strålingsasymmetrien mot yttervegger. Da kaldraset fra vinduer motvirkes i mindre grad, bør det brukes godt isolerte vinduer. Det kan også være en fordel å bruke noe mindre avstand mellom varmerørene mot yttervegger med vindu for å øke varmeavgivelsen. Alternativt kan

man kombinere takvarme med gulv- eller veggvarme, eller bruke en mindre varmelist under vinduer. Dette kan være nødvendig i eksisterende bebyggelse for å unngå høye overflatetemperaturer på takflaten.

Takvarme og temperaturfordeling

Varmeavgivelsen angitt i fig. 4.2 forutsetter en jevnt fordelt temperatur over hele takflaten. I motsetning til for gulvvarme vil man for et takvarmeanlegg tåle betydelige temperaturforskjeller over takflaten uten at dette har betydning for komforten. Dette vil imidlertid gå utover den samlede varmeavgivelsen. Figur 4.3 viser beregnet temperaturfordeling over en takflate med en konstant vannetemperatur på ca. 35 °C og en røravstand på 600, 300 og 200 mm. For røravstand 600 og 300 mm er det brukt 0,5 mm tykke varmfordelingsplater med bredde 280 mm. For røravstand 200 mm er det forutsatt 0,5 mm tykke Al-plater med bredde 170 mm.

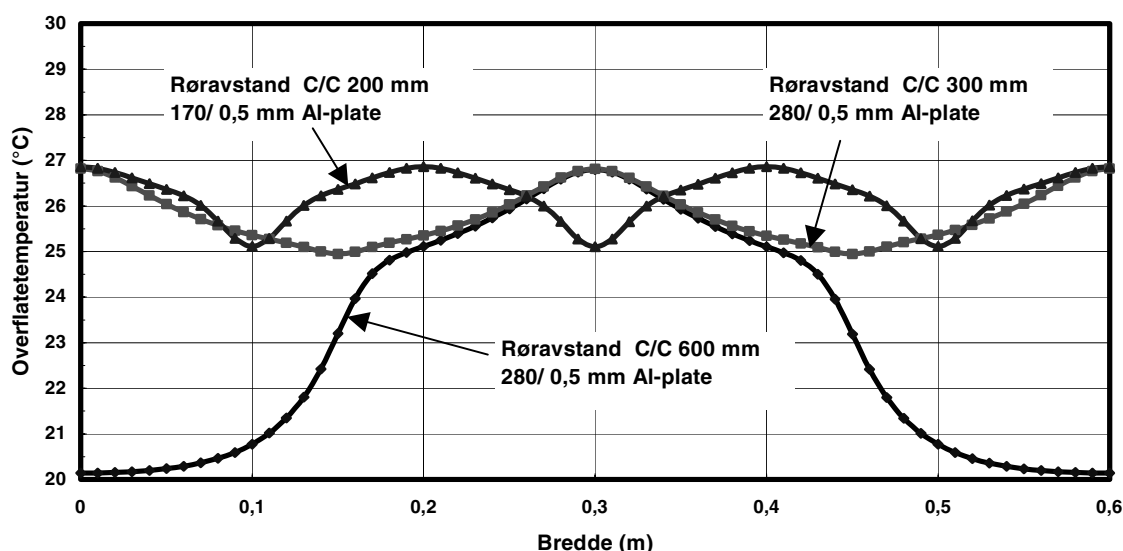


Fig. 4.3. Beregnet temperaturfordeling over en takflate med ulike avstand mellom varmerørene og bredde på varmfordelingsplatene. Romlufttemperatur er 20 °C og vannetemperatur ca. 35 °C.

Det fremgår at maksimal overflatetemperatur på taket umiddelbart under varmerørene er den samme uavhengig av røravstanden. Temperaturforskjellen midt under og mellom varmerørene vil kunne variere i det viste tilfellet fra 7 til 2 °C. I eksemplet vist på fig. 4.3 er det forutsatt at himlingen under varmfordelingsplatene består av en 13 mm gipsplate og 8 mm trefiberplater, eller to 13 mm gipsplater. Det er også forutsatt god kontakt mellom varmfordelingsplatene og himlingsplatene. I praksis vil den store temperaturforskjellen (7 °C) man har med røravstanden 600 mm utjevnes noe på grunn av lokal konveksjon. Utførelsen forutsetter imidlertid at det brukes materialer i himlingen som tåler disse temperaturforskjellene. Vanlige tørre himlingsmaterialer av typen gips, spon eller trefiberplater har meget beskjeden temperaturutvidelseskoeffisient, i størrelsesorden $10 - 26 \cdot 10^{-6}$, og vil derfor kunne brukes uten problemer.

Varmeavgivelsen fra takflaten vil være meget avhengig av røravstanden. Under ovennevnte betingelser er spesifikk varmeavgivelse med røravstand 600 mm beregnet til 20,8 W/m². Tilsvarende vil spesifikk varmeavgivelse med røravstand 300 mm ligge på 38,4 W/m², mens en røravstand på 200 mm øker varmeavgivelsen til 41,4 W/m², eller en økning på ca. 8 %. For takvarmeanlegg har det derfor liten hensikt å redusere røravstanden til under 300 mm. En røravstand på 300 mm vil forenkle monteringen av takvarmeanlegget i det man enkelt kan tilpasse lekter for montering av varmefordelingsplater til vanlig standardmål på himlingsplater.

Kombinasjon av takvarme og tilluft- eller omluftsventiler

Ved å supplere takvarmeanlegget med andre varmekilder vil man kunne øke luftsirkulasjonen i rommet og dermed bryte opp en relativt stabil termisk tilstand som skyldes takvarmeanlegget. Den konvekative varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget vil kunne forbedres betydelig ved å øke luftsirkulasjonen i rommet. Dette kan bl.a. oppnås ved en gunstig plassering av tilluftsventiler for friskluft som kan være høyt oppe på veggen eller i himlingen, se fig. 4.4. Man oppnår dermed å få en luftbevegelse langs takflaten som vil øke den konvekative varmeavgivelsen.

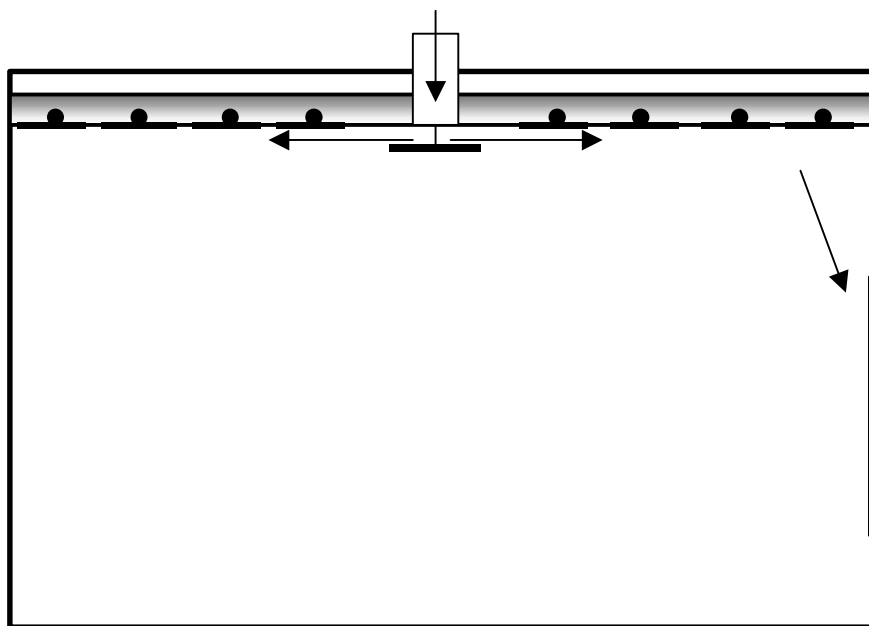


Fig. 4.4. En tilførselsventil for ventilasjonsluft plassert midt på takflaten med takvarme vil kunne føre til økt luftbevegelsen og dermed større varmeavgivelse fra takflaten.

Erfaringer fra kjøletak viser at det bør være mulig å øke varmeavgivelsen fra taket med ca. 20 % uten at dette fører til vesentlige støyp problemer. Det betyr at varmeavgivelsen fra takflaten kan komme opp på samme nivå som for gulvvarmeanlegg med samme overflatetemperatur. Man vil også på denne måten kunne øke temperaturen på nedgående luft (kaldras) forårsaket av kalde vindusflater. I eksisterende bebyggelse med avtrekksventilasjon kan en vifte gjøre samme nytte som en tilluftsventil. Takvarmeanlegget i eksisterende bygninger bør dimensjoneres slik at det bare er behov for økt luftsirkulasjon i perioder med eksterme temperaturforhold.

Når det gjelder varmeavgivelse fra gulv- og veggvarmeanlegg vises til referansene [1][2].

5. Oppsummering

Med et moderat varmebehov og et godt isolert gulv, fortrinnsvis uten fliser, vil takvarme gi et gunstig inneklima. Hvis takvarmeanlegget samtidig er montert i et mellombjelkelag der man kan se bort fra tilleggsvarmetap til det fri vil dette også være en meget energieffektiv oppvarmingsmetode.

Det stilles normalt færre funksjonskrav til en himling enn til gulv og vegger. Dette gjør det enklere å velge varmeteknisk gunstige materialkombinasjoner for takvarmeanlegget. Man oppnår dermed at varmeanlegget blir mindre varmetregt samtidig som man kan utnytte meget lave vanntemperaturer. Det kan også tillates større temperaturforskjeller over takoverflaten uten at dette har vesentlig betydning for himlingsmaterialer eller inneklima.

En annen stor fordel med takvarmeanlegg er at dette også kan brukes som kjøletak under sommerforhold. Energien som tilføres vannet under sommerforhold kan eventuelt utnyttes til å forvarme tappevannet, se fig 5.1 .

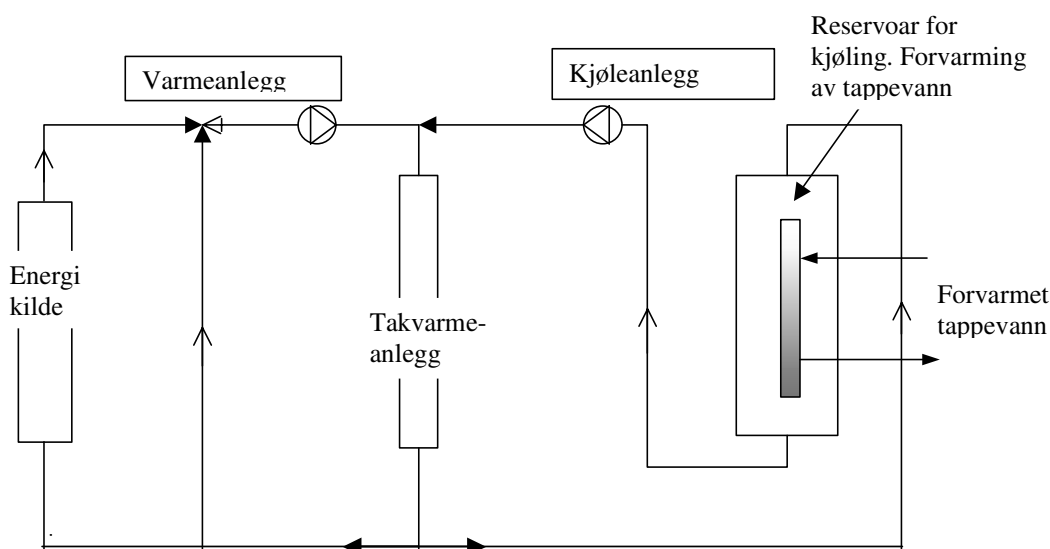


Fig. 5.1. Prinsippskisse. Takvarmeanlegget kan brukes som kjøleanlegg der opptatt energi eventuelt kan utnyttes til forvarming av tappevannet.

I eksisterende bebyggelse med større varmebehov vil takvarme være et supplement til andre varmeanlegg. Det er for eksempel enkelt å etablere takvarme dersom lydisolasjonen skal forbedres i etasjeskillere. Da takvarmeanlegg kan utføres med kort responstid for oppvarming, egner det seg godt i kombinasjon med mer varmetrege gulvvarmeanlegg som kan stå for basisvarmen og sikre tilfredsstillende gulvtemperatur. Takvarme alene vil ikke kunne forhindre kalde gulv på grunn av mangelfull gulvisolasjon.

6. Referanser

- [1] Gundersen, Per: Energifleksible varmeanlegg. Prosjektrapport 270. Norges byggforskningsinstitutt. Oslo 2000
- [2] Gundersen, Per: Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg. Prosjektrapport 317. Norges byggforskningsinstitutt. Oslo 2002

Bilag 1

Ceiling heating/cooling

In new and existing buildings



- Application
 - ☒ for heating
 - ☒ for cooling
- State of the art
 - ☒ Commercial available
 - ☐ Prototype
 - ☐ Innovative concept
- Minimal heating temperature:
23 °C (typical range: 25-30)
Maximal cooling temperature:
20 °C (typical range: 10-15)
- Rel. mech. energy for operation:
0.0005 $W_{\text{mech}}/W_{\text{heat}}$
- Relative Exergy consumption:
0.1 W/W_{heat}
- Estimated investment costs: **30 Euro/m²**
(typical range: 30 – 50 Euro/m²)

• Description:

The hydronic heating system is integrated in the ceiling and consists of PEX plastic pipes attached in profiled aluminium sheets, and some sort of board or cladding as surface material. It is favourable to use plaster boards due to the rather low thermal resistance of the boards, and the corresponding lower temperature drop over the boards. The PEX pipes and the aluminium sheets are of the same type as used in light-weight under-floor heating systems. All components in the ceiling heating system are therefore commercially available.

The profiled aluminium sheets are attached from below to a suspended grid of 48 x 48 mm wooden laths. To reduce the upward heat loss, 50 mm mineral wool is placed on top of the aluminium sheets (in between the laths). This layer of insulation also improves the airborne sound insulation to the storey above and presses the aluminium sheet down on the plaster board. A polyethylene film with a low-emissive coating may also be used to reduce the upward heat loss. At each bend, the PEX pipes are fixed to the wooden laths. This also reduces the strain on the aluminium sheet.

The system is primarily developed for heating purpose, but may also be used for cooling. The system has a low thermal mass and responds quickly on temperature changes. Most of the heat is emitted as radiation, whereas the convective part is more limited. The maximum surface temperature is approximately 30 °C, corresponding to a maximum heat emission of

about 60 W/m² at a room temperature of 20 °C. Forced convection will increase the heat emission by 30 – 50 %. In buildings with balanced ventilation, the ventilation supply air may be used to create such forced convection. Alternatively, fans may be used to blow air along the heated ceiling and increase the convection. Such fans will only be used in short periods, for instance during quick heating up periods, or when the outdoor temperature is very low. If one is installing a suspended ceiling to improve the airborne sound insulation towards the storey above, the extra investment costs of installing the ceiling heating system will be moderate.

Technical risks/benefit analysis:

Risks: The total heat emission from the ceiling heating system will be limited, and the building's heat loss should be low if the ceiling heating is to be the only heat source. In buildings with higher heating demand, there will be a need for a supplementary heating source. Thin aluminium sheets (0,5-0,6 mm) are used in the system. These sheets may get dents during handling and installation, reducing the thermal contact with the ceiling board below. Another risk is leakage of the water in the pipes, but this applies for all hydronic heating and cooling systems.

Benefits: The system responds quickly because of the low thermal mass. Most of the heat is emitted as radiation, increasing the temperature of the other surfaces in the room. This improves the thermal comfort.

The whole surface of the ceiling will be active as a heating or cooling surface. For floor heating in comparison, parts of the floor will normally be covered with carpets and furniture, reducing the total heat being emitted. The exposed surface actively emitting heat will therefore normally be larger for ceiling heating than for under-floor heating. Moreover, the same strict load bearing and functional requirements do not apply for materials used in the ceiling as for materials used in the floor, and thinner materials may be used in the ceiling than in the floor. The thermal resistance from the pipes to the surface will consequently be reduced for the ceiling heating systems. The temperature of the heated surface has to be about 1,0 °C degree higher for ceiling heating than for floor heating to emit 30 W/m².

In total, the larger exposed surface of the ceiling, and the lower temperature drop from the water in the pipes to the surface, will about compensate for the lower convective heat emission from the ceiling heating. Using the same water temperature in the pipes, the total heat emission from ceiling heating will be about similar to that from under-floor heating.

Special advantages, disadvantages, limitations or side effects:

Advantages: Ceiling heating systems in intermediate suspended floors have high efficiency and low additional heat losses. Ceiling heating systems are well protected against mechanical damage.

Disadvantages: With regard to thermal comfort, ceiling heating cannot compensate for poorly insulated floors or poor windows.

