

Per Gundersen

Energifleksible varmeanlegg

Energieffektiv vannbåren lavtemperaturvarme

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Per Gundersen

Energifleksible varmeanlegg

Energieffektiv vannbåren lavtemperaturvarme

Prosjektrapport 270 – 2000

Prosjektrapport 270
Per Gundersen
Energifleksible varmeanlegg
Energieffektiv vannbåren lavtemperaturvarme

Emneord:
Varmeanlegg, Lavtemperaturvarme, Gulvvarme,
Vannbåret, Lette flytende golv

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0678-8

100 eks. trykt av
S.E. Thoresen as
Innmat:100 g Kymultra
Omslag: 200 g Cyclus
Opptrykk 2000: 150 eks.

© Norges byggforskningsinstitutt 2000

Adresse: Forskningsveien 3 B
Postboks 123 Blindern
0314 Oslo
Telefon: 22 96 55 55
Telefaks: 22 96 55 42

Forord

Rapporten gir en oppsummering av diverse resultater fra forskningsprosjektene ”*Lette, lavtemperatur varmeanlegg*”, ”*Energieffektive, rimelige gulv-på-grunnen med og uten gulvvarme*” og ”*Varmelegg med varmelagring*” i regi av Norges forskningsråds NYTEK-program.

Hovedmålsettingen med disse prosjektene er å utvikle energi- og kostnadseffektive systemløsninger for energifleksible lavtemperatur varmeanlegg. Skal energifleksibiliteten samtidig ha et mer miljøvennlig og bærekraftig perspektiv, er det viktig også å kunne utnytte fornybare lavkvalitets energikilder til oppvarmingsformål. Solenergi som vesentlig energikilde for produksjon av lavkvalitets energi, kan utnyttes direkte i solfangere eller indirekte i form av vann- og jordvarme i kombinasjon med varmepumpe. Optimal utnyttelse av lavkvalitets energikilder forutsetter varmelegg som kan utnytte lave vanntemperaturer, gjerne ned mot 30 °C. Det er derfor viktig i en oppbyggingsfase for vannbårne varmelegg i Norge at det legges langsiktige perspektiv til grunn for valg av systemløsninger. Størst fleksibilitet og energieffektivitet oppnås når man i tillegg til å velge mellom forskjellige energikilder og energibærere har mulighet for varmelagring på sluttbrukerleddet.

Høye kostnader, og da særlig anleggskostnadene, er hovedproblemet med dagens vannbårne lavtemperatur varmeanlegg. Det er derfor nødvendig å utvikle integrerte løsninger der heteflatene kan inngå i bygningskonstruksjonen uten store tilleggskostnader. I første omgang er hovedvekten lagt på å utvikle lette gulvvarmeanlegg med liten tidskonstant som tilfredsstillende øvrige funksjonskrav til en gulvkonstruksjon. For å oppnå dette, har det vært nødvendig å ta i bruk nye materialkombinasjoner og konstruksjonsprinsipper. Generelt bør bærende sjikt plasseres under varmerørene mens topplagets oppgave er å sikre god varmefordeling samtidig som det skal ha liten varmemotstand. Det er utviklet lette flytende gulvvarmeløsninger for gulv på grunnen som også kan brukes i mellombjelkelag der de gir tilfredsstillende trinnlydsdempning. Med tanke på å etablere vannbårne varmelegg i eksisterende bebyggelse, arbeides det også med å utvikle lavtemperatur heteflater som kan integreres i innervegger og takkonstruksjoner.

Et annet problem, spesielt med dagens varmetrege gulvvarmeløsninger, er utilfredsstillende temperaturregulering. Når tradisjonelle gulvvarmeanlegg med stor varmetreghet plasseres i nye godt isolerte boliger med beskjedent og hurtig skiftende varmebehov, viser nye målinger bl.a. utført i Danmark, at varmeavgivelsen ofte ute av fase med behovet. Resultatet er økt energiforbruk. Kravet til temperaturreguleringen må være at den skal være enkel, rimelig og energieffektiv og samtidig sikre godt innklima også i rom med hurtig skiftende varmebehov. Dette kan oppnås ved å bruke lave vanntemperaturer og lette gulvvarmeløsninger med liten tidskonstant (10 - 15 min.). Vi har også sett på kombinerte løsninger der elektrisitet, som er enkelt å regulere, sikrer varmebalansen mens vannbåren lavtemperaturvarme sørger for grunnvarmen. Dette kan være en energieffektiv metode for å sikre at eldre bebyggelse med relativt stort varmebehov skal kunne utnytte lave vanntemperaturer til oppvarmingsformål. Forutsetningen må være at elektrisitet bare skal dekke 10 – 20 % av bygningens varmebehov.

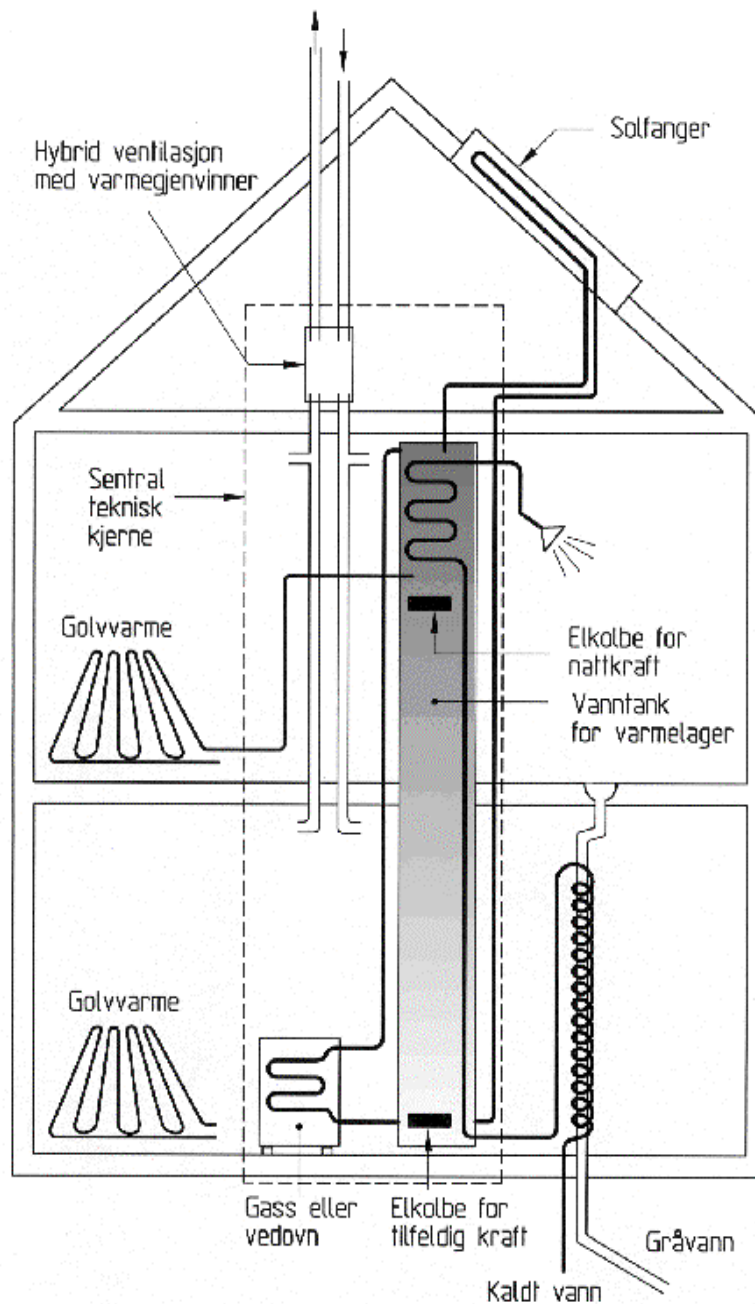
De forskjellige løsningene er utviklet ved hjelp av teoretiske simuleringer i kombinasjon med laboratorieundersøkelser. Laboratoriemålinger er viktig for å fastlegge termiske og mekaniske egenskaper som nødvendige grunnlagsdata for dimensjonering. Fullskala utbygging er tatt i bruk for å utprøve ulike systemløsninger, konstruksjonsdetaljer, kostnader og driftsforhold. De omtalte NFR-prosjektene er primært samarbeidsprosjekter mellom Byggforsk, Block Watne AS og Alcatel Kabel Norge AS. Prosjektene har vært finansielt støttet av Husbanken. Det har også vært flere andre aktive samarbeidspartnere i prosjektene der vi særlig vil trekke frem Tor H. Charlesen i Hunton Fiber AS. I prosjektet ”*Lette, lavtemperatur varmeanlegg*” inngår oppfølging og medvirkning i IEA Annex 37 ”*Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings*”. Dr. ing. Lars Myhre har bistått med gode råd og kvalitetssikret rapporten.

Oslo, januar 2000
Per Gundersen

Innhold

Forord	3
Innhold	4
Sammendrag	6
1. Grunnlag	9
1.1 Vannbåren varme	9
1.2 Energikvalitet	9
1.3 Fornybare energikilder	10
1.4 Lavtemperatur varmeanlegg	10
1.5 Spillvarme	10
1.6 Energikvalitet og varmebehov	10
2. Varmt forbruksvann	11
3. Lavtemperatur varmeanlegg	12
3.1 Varmebehov og temperaturnivå	13
4. Grunnleggende forutsetninger for lavtemperatur varmeanlegg	16
5. Energi- og effektbehov	17
6. Varmeanlegg i gulv på grunnen	18
6.1 Varmetap	18
7. Gulvvarme og alternative varmeanlegg	20
8. Energitap og gulvisolasjon	21
8.1 Temperaturnivå	21
9. Varmemagasinet	22
9.1 Utforming av varmelageret	22
9.2 Magasinstørrelse	25
10. Temperaturregulering	26
10.1 Varmetregghet	26
10.2 Røravstand	28
10.3 Energieffektivitet og temperaturstyring	28
10.3.1 Tradisjonelle, varmetrege gulvvarmeanlegg	29
10.3.2 Lett gulvvarmeanlegg med lav varmekapasitet og liten tidskonstant	29
11. Leggemønster	30
12. Eksempel på lavtemperatur gulvvarmeanlegg	32
12.1 Varmerør i betong	32
12.2 Lette gulvkonstruksjoner med gulvvarme	34
12.2.1 Temperaturtap i overbygningen	34
12.2.2 Varmerør og temperaturfordeling	35
12.2.3 Beregnet oppvarmingsforløp	38
13. Gulvvarme i lett mellombjelkelag med lydisolering	40
14. Mekaniske egenskaper for lette flytende gulvkonstruksjoner	42
14.1 Forslag til mekaniske bedømmelseskriterier for flytende gulv	42
14.2 Prøvningsmetode	42
14.3 Aktuelle underlagsmaterialer for lette gulv med gulvvarme	45
14.4 Last/deformasjonsmålinger	45
14.4.1 Statistiske målinger	45
14.4.2 Eksempel på nedbøyning og lastfordeling ved punktlaster på 9 og 15 mm parkett på 36 mm porøse trefiberplater, fig. 14.3.	47
14.4.3 Dynamiske målinger	48
14.4.4 Konklusjon	49
15. Oppvarmingskarakteristikk for elektrisk og vannbåren gulvvarme	49
15.1 Elektriske varmekabler, laboratiemålinger	49
15.2 Vannbåren varme	52
16. Kombinerte løsninger	55
16.1 Elektrisk og vannbåren gulvvarme	55
16.2 Lette gulv	56
16.3 Tunge gulv	57
17. Tak- og gulvvarme	58
18. Referanser	59
Vedlegg 1	60

Prinsippskisse for aktuelle installasjoner i en lavenergibolig med vannbåren varme



Prinsippskisse for aktuelle installasjoner i en lavenergibolig med vannbåren varme. Foruten lave transmisjonsvarmetap og energieffektive installasjoner, bør varme gjenvinnes fra ventilasjonsluft og gråvann. Med hybrid ventilasjon forstås lavtrykksventilasjonsanlegg der man utnytter vind og naturlige oppdriftskrefter når disse er tilstede. Man reduserer dermed både støy og vifteenergi. Energifleksibel, lavtemperatur, vannbårent varmeanlegg i lett utførelse med mulighet for varmelagring, sikrer god energieffektivitet uavhengig av energikilden. Ved å bruke et høyt varmelager og plassere dette sentralt i boligen, oppnår man effektiv temperatursjiktning og god utnyttelse av varmetapet fra varmelageret.

Sammendrag

Skal vannbårne varmeanlegg i tillegg til å sikre energifleksibilitet også fremme bruk av nye, fornybare energikilder, må varmeanleggene kunne utnytte lave vanntemperaturer (30 – 35 °C). Dette er ikke tilfellet for hovedtyngden av de vannbårne anleggene som bygges i Norge i dag.

Energiforbruket i bygninger er sammensatt, med ulik krav til energikvalitet. Lys, andre installasjoner og utstyr krever høykvalitetsenergi i form av elektrisitet, mens energi til oppvarmingsformål kan nøye seg med energi av lavere kvalitet. Målsettingen må være å utføre bygningene og installasjonene slik at man samlet oppnår høyest mulig energieffektivitet av kjøpt energi med minimum forbruk av høykvalitetsenergi. Dette kan gjøres på en kostnadseffektiv måte ved å sørge for at bygningen har lavt varmetap og integrere varmeanlegget i bygningskonstruksjonen. Ved samtidig å ta i bruk enkle prefabrikkerte løsninger vil kostnadene ved å etablere heteflater kunne reduseres vesentlig.

Bruk av lave vanntemperaturer til oppvarmingsformål forutsetter beskjedent varmebehov og varmeanlegg med store heteflater. Det er direkte sammenheng mellom heteflatens størrelse og krav til overflatetemperatur. Godt inn klima og god energieffektivitet forutsetter varmeanlegg med mulighet for individuell temperaturkontroll i de enkelte rom.

Sammenliknet med punktvarmekilder som for eksempel vedovner, har lavtemperatur varmeanlegg lav effektdynamikk. Dette behøver imidlertid ikke skape vesentlige problemer for temperaturreguleringen. Spesielt i en forseringsperiode med store temperaturredifferanser vil et vannbårent gulvvarmeanlegg i lett utførelse gi betydelig effektpådrag. Effektpådraget i forseringsperioden vil være langt større enn for gulvarme basert på elektriske varmekabler med konstant avgitt effekt. Vannbåren varme, på grunn av vannets store varmekapasitet, og dermed evne til å magasinere varme, har derfor i lett utførelse store fordeler i en oppvarmingsperiode i forhold til tradisjonelt oppbygde gulvvarmeanlegg med elektriske varmekabler. Dette vil resultere i betydelig kortere oppvarmingstid.

Den vanlige oppfatningen er at problemer i tilknytning til temperaturreguleringen vil bli mindre i bygninger med tradisjonelle varmetrege gulvvarmeanlegg hvis bygningen samtidig har beskjedent varmebehov. Teorien er at man kan utnytte varmetrege varmeanleggs selvregulerende egenskaper. Ved bruk av en relativt åpen planløsning, antas det at et enkelt sentralisert, uteluftkompensert system for temperaturregulering vil kunne gi tilfredsstillende energieffektivitet og komfort.

Målinger utført i Danmark på nye godt isolerte boliger som utelukkende har tradisjonelle varmetrege gulvvarmeanlegg, viser imidlertid at dette ikke alltid er tilfellet. Det er her påvist et merforbruk når det gjelder energi på hele 40 %. Det kan være flere årsaker til dette merforbruket, men stor varmetreghet gjerne kombinert med relativt høye vanntemperaturer er sannsynligvis hovedårsaken.

Varmetrege gulvvarmeanlegg er ute av fase med varmebehovet. Vi har derfor i dette prosjektet prioritert å utvikle lette gulvvarmeutførelser som samtidig kan utnytte meget lave vanntemperaturer.

For å kunne utnytte lavest mulige vanntemperaturer krever dette større vannstrømning for å opprettholde jevnest mulig overflatetemperatur på hele heteflaten. Temperaturfallet på vannet over heteflaten bør ligge i området 1 – 2 °C, ikke 5 °C som er vanlig i dag. Dette vil også lette

prosjekteringen og utførelsen av anlegget. Man er ikke så avhengig av bestemte rørmønstre for å sikre best mulig varmfordeling, men kan velge enkle rørmønstre som er godt egnet for prefabrikking.

Vanlig utførelse i dag med individuell temperaturregulering av vannbårne lavtemperatur varmeanlegg basert på romtermostater, er meget kostbar. Det er ikke uvanlig at reguleringsystemet alene vil kunne utgjøre mer enn en tredjedel av samlede anleggskostnader for varmeanlegget. Dette er høy kostnad for en ofte lite energieffektiv temperaturregulering ut av fase med behovet. Innføring av ny teknologi med fjernstyring av ventiler, pumper, etc. vil sannsynligvis kunne redusere kostnadene noe. Det settes dermed vesentlig større krav til varmeanleggets oppbygging og funksjon. Det har ingen hensikt med avansert reguleringsutstyr som ikke er tilpasset varmeanlegget.

En rimelig og energieffektiv temperaturregulering kan også oppnås ved å bruke høykvalitetsenergi (fortrinnsvis elektrisitet) til individuell finjustering av romtemperaturen i de enkelte rom. Lave vanntemperaturer sikres da ved å la det vannbårne varmeanlegget stå for grunnvarmen inkl. forvarming av varmt forbruksvann, mens tilleggsvarmen, ca. 5 – 15 % av det totale energibehovet til oppvarming, besørges av elektrisk energi.

Man kan for eksempel anlegge mindre deler av gulvvarmeanlegget med elektriske varmekabler, eller supplere med elektriske panelovner. Dette er bare en videreføring av de forholdene man allerede har i dag der lys og andre elektriske installasjoner allerede dekker fra 5 % til 15 % av varmebehovet i en bolig. En slik kombinasjon gjør at man kan operere med vesentlig lavere vanntemperaturer og samtidig få mer energieffektiv utnyttelse av varmetrege gulvvarmeanlegg. Anlegg som tidligere på grunn av utilfredsstillende temperaturregulering og store varmetap har gitt uforholdsmessig høyt energiforbruk. Denne kombinasjonen gjør også at det er enkelt å tilføre noe tilleggsvarme i overgangsperiodene vår og høst uten å starte opp det vannbårne hovedanlegget. Man reduserer dermed problemet med overtemperaturer og økt varmetap og legger samtidig forholdene til rette for en effektiv varmelagring.

Spesielt for gulvvarmeanlegg finnes det visse begrensninger i utførelsen da gulvet skal tilfredsstillende en rekke tilleggfunksjoner. Dette går på egenskaper som stivhet, planhet, lydemping, utseende, etc. Med bruk av dagens teknologi og tilgjengelige materialkombinasjoner er det mulig å utføre lavtemperatur vannbårne gulvvarmeanlegg som oppfyller disse funksjonskravene. Felles for utførelsen av disse gulvvarmeanleggene, både for gulv på grunnen og i mellombjelkelag, er en lett, flytende utførelse uten bruk av betong. Det vesentlige er at gulvets bæring ivaretas av et sjikt under varmerørene. Samtidig sikres god varmfordeling og dermed god varmeavgivelse ved hjelp av Al-plater med høy varmeledningsevne. Man kan dermed bruke et tynt topplag med liten varmemotstand som samtidig gir gulvet tilfredsstillende stivhet og lastfordeling. Tidskonstanten for denne type gulvvarmeanlegg med vannbåren varme kan komme helt ned i 10 - 15 minutter. Man har da et dynamisk, lavtemperatur varmeanlegg som gjør det mulig å sikre høy energieffektivitet.

For bygninger med noe større varmebehov kan det være mer energiøkonomisk og innklimamessig riktig å øke heteflatens størrelse enn generelt å øke vanntemperaturen og dermed overflatetemperaturen på heteflaten. Ideell overflatetemperatur for gulv for personer med lett innendørs fottøy er 23 °C. For en lufttemperatur på 20 °C, svarer dette til en varmeavgivelse på ca. 30 W/m². En grads økning av overflatetemperaturen på gulvet øker varmeavgivelsen med ca. 10 W/m². Ved å øke heteflatens størrelse eller supplere med andre varmekilder, er det mulig å kjøre gulvvarmeanlegget med nær ideell overflatetemperatur.

Dette kan for eksempel gjøres ved å bruke deler av gulv-, vegg- og takflaten som heteflate. Takvarmeanlegget kan ved behov brukes til kjøling i sommerhalvåret. Utførelsen forutsetter bruk av integrerte prefabrikkerte løsninger der kostnadene ved å etablere heteflater gir relativt beskjedne tilleggs kostnader.

Rapporten viser at energifleksible løsninger basert på vannbårne lavtemperatur varmeanlegg kan gjøres meget energieffektive. Eksemplene viser at det med strålevarmeanlegg bør være mulig å oppnå energibesparelser i størrelsesorden 4 – 15 % i forhold til varmeovner plassert under vinduer. Det er da tatt hensyn til økt varmetap fra gulvvarme i gulv på grunn. Størst energibesparelse oppnås når lufttemperaturen kan senkes opptil 2,0 °C på grunn av varmestråling fra det varme gulvet, og når varmeanlegget er utformet slik at man kan utnytte lave vanntemperaturer (30 - 35°C). I tillegg til energibesparelsen man oppnår ved å senke innelufttemperaturen, vil lavere lufttemperatur i vinterhalvåret redusere avgassing fra materialer og gi høyere relativ fuktighet og dermed bedre fukt komfort.

Hvis varmeanlegget plasseres i mellombjelkelag (gulv/takvarme), kan all avgitt varme utnyttes uten tilleggskostnad. Maksimal potensiell energibesparelse for en lavenergiløsning vil da kunne komme opp mot 18 % av samlet varmebehov.

En nødvendig forutsetning for å kunne senke lufttemperaturen og nå disse besparelsene er at boligen har lavt varmetap. Det innebærer bl.a. 200 mm gulvisolasjon for gulv på grunn med gulvvarme og glassruter med lav U-verdi ($\leq 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) for å unngå kalddras. Videre forutsettes at varmeanlegget opereres med lave vanntemperaturer og ikke brukes som komfortvarme utenfor fyringssesongen. Gulvoverflaten må derfor ikke oppfattes spesielt kald i temperaturområdet 20 – 22°C. Økt bruk av flislagte gulv på grunn vil kunne bidra negativt i denne sammenhengen og kan med fordel erstattes av tynn parkett e.l.. God energieffektivitet forutsetter samtidig individuell og god temperaturkontroll.

I tillegg til at strålevarmeanlegg i seg selv er energieffektive, vil varmeanlegg som kan nyttiggjøre lave vanntemperaturer gi god utnyttelse av alternative, fornybare energikilder. Dette vil ytterligere kunne øke alternative energisystemers energieffektivitet. Det tenkes da spesielt på ulike typer varmepumpesystemer og aktive solvarmeanlegg.

1. Grunnlag

1.1 Vannbåren varme

Det oppfordres i dag til å ta i bruk vannbåren varme til oppvarming av bygninger. Hensikten er primært å sikre energifleksibilitet med mulighet for å utnytte alternative energikilder og dermed frigjøre bruk av elektrisitet til oppvarmingsformål. Skal energifleksibiliteten også ha et miljøvennlig perspektiv, er det spesielt viktig å kunne ta i bruk alternative, fornybare, lavkvalitets (lavexergi) energikilder til oppvarmingsformål og da særlig energikilder med begrenset anvendelighet til andre formål. Det er derfor viktig at det legges langsiktige perspektiv til grunn for valg av systemløsninger.

Størst fleksibilitet og effektivitet oppnås når man i tillegg til å velge mellom forskjellige energikilder og energibærere, også har mulighet for energilagring på sluttbrukerleddet og har varmeanlegg som kan utnytte meget lave vanntemperaturer (30 - 35 °C).

1.2 Energikvalitet

I termodynamikken blir begrepet exergi blant annet brukt til kvalitativ vurdering av energileveransen. Leveransens exergiinnhold kan forstås som den delen av energien som kan omdannes til mekanisk arbeid. Energi med høyt exergiinnhold betegnes som høykvalitetsenergi, mens et lavt exergiinnhold betyr lavere kvalitet og dermed redusert anvendelighet. Avhengig av kvaliteten kan forskjellig typer energi deles inn i tre grupper:

- Energi som fullstendig kan omdannes til annen energi, for eksempel elektrisk energi som omdannes til mekanisk arbeid (Exergi).
- Energi med begrenset mulighet for omdannelse, for eksempel varme.
- Energi som ikke kan omdannes til annen type energi (Anergi).

Hvis vi forutsetter at elektrisitet har en exergi kvalitetsfaktor $\eta = 1$, kan vi sette opp følgende tabell når omgivelsestemperaturen er 5 °C:

Tabell 1. Exergi kvalitetsfaktor

Energi type	Exergi kvalitetsfaktor η
Elektrisitet	1
Fossilt brensel	≈ 1
Damp 450°C	0,62
Varmt vann 100 °C	0,25
Varmt vann 50°C	0,14
Varmt vann 30°	0,08
Romluft 20 °C	0,05
Uteluft 5 °C	0

Tabellen viser at det i prinsippet er tilstrekkelig med en exergi kvalitetsfaktor for energitilførselen i størrelsesorden 0,05-0,08 for å varme opp bygninger. Dette gir stor frihet til å velge ulike energikilder til oppvarmingsformål. Da man har begrenset tilgang på vannkraft, samtidig som fossilt brensel er en ikkefornybar ressurs med negativ påvirkning på miljøet, bør fremtidens energisystemer i bygninger kunne opereres ved lavest mulig temperaturnivå med minimalt bruk av mekanisk energi.

1.3 *Fornybare energikilder*

Fornybare energikilder omfatter foruten vind-, bølge- og vannkraft forskjellige former for bioenergi og solenergi. Dette er energikilder som også i betydelig grad kan omdannes til høykvalitetsenergi i form av elektrisitet. Solenergi som vesentlig energikilde for produksjon av lavkvalitetsenergi, kan utnyttes direkte i solfangere eller indirekte i form av vann- og jordvarme i kombinasjon med varmepumpe. Varmepumpe kan også brukes til produksjon av lavkvalitetsenergi fra spillvarme fra industrielle prosesser, avløpsvann, etc. Bruk av varmepumper krever tilskudd av høykvalitets energi, normalt elektrisitet, men også gass kan brukes (absorpsjonsvarmepumpe).

1.4 *Lavtemperatur varmeanlegg*

Lave vanntemperaturer er spesielt viktig ved bruk av varmepumper for å øke effektfaktoren og dermed redusere nødvendig tilskudd av høykvalitetsenergi til drift av varmepumpen, se *fig. 1.1*. Tilsvarende forhold gjelder ved direkte bruk av vannbaserte solfangere som også får økt effektivitet ved lave vanntemperaturer. Generelt gjelder det at optimal utnyttelse av aktuelle lavkvalitets energikilder til oppvarmingsformål forutsetter varmeanlegg som kan nyttiggjøre lave vanntemperaturer, gjerne ned mot 30 °C. Målsettingen må derfor være å utføre bygningene og installasjonene slik at man samlet oppnår høyest mulig energieffektivitet med et minimum forbruk av høykvalitetsenergi.

Reell energifleksibilitet oppnås i prinsippet bare når varmeanleggene kan utnytte lave vanntemperaturer. Dette er normalt ikke tilfellet ved dagens utførelser av vannbårne varmeanlegg som ofte krever relativt høye vanntemperaturer. I veiledning til ny teknisk forskrift fremgår det at varmeanlegg tilknyttet fjernvarmeanlegg bør dimensjoneres for turtemperatur 60 °C og at temperatursenkningen skal være minst 15 °C ved lav belastning. Dette er varmeanlegg som er tilpasset kombinasjon med forbrenningsanlegg for høykvalitets energi som olje, gass eller ulike typer biomasse. Anleggene er derfor lite egnet til direkte å kunne utnytte lavkvalitets energikilder.

1.5 *Spillvarme*

Tilgang på spillvarme fra industrielle prosesser øker eksponentielt med avtagende temperaturnivå. Med varmt vann som energibærer må det etableres et nær- eller fjernvarmenett. Spesielt for sekundærnettet som ofte har betydelige rørlengder, vil distribusjonstapet være direkte avhengig av temperaturnivået. Turtemperaturen bør derfor være så lav som mulig. Ved bruk av lavtemperatur varmeanlegg får man vesentlig bedre utnyttelse av varmeinnholdet i fjernvarmevannet. Samtidig øker muligheten for effektiv varmelagring.

1.6 *Energikvalitet og varmebehov*

Ved å ta i bruk lavkvalitetsenergi til oppvarmingsformål, vil man normalt ha et energisystem som består av en kombinasjon av flere typer energikilder og energibærere. Man tilfører høykvalitetsenergi til bygningene i form av lys og drift av utstyr som også vesentlig avgis til romoppvarming. Generelt vil det derfor bare være en del av energibehovet til oppvarming som kan hentes fra såkalte lavkvalitetsenergikilder. Andelen av alternative energikilder som kan utnyttes vil direkte være avhengig av klima og bygningenes isolasjonsstandard. Jo bedre isolert bygningen er, desto mindre behov for tilleggsenergi. Med dagens isolasjonsstandard

(ny byggeforskrift) vil det imidlertid stadig være betydelig behov for tilførsel av tilleggsenergi til oppvarmingsformål. Samtidig har man en eldre boligmasse med mye høyere varmebehov.

Uansett valg av energikilder vil det være god investering å redusere bygningenes varmebehov ved å satse på best mulig varmeisolering og gjenvinne varme av avtrekksluften og evt. varmt forbruksvann. Dette er minst like aktuelt ved bruk av energifleksible varmeanlegg og lavkvalitetsenergikilder der lavt varmebehov er en viktig forutsetning for å kunne senke vanntemperaturen. Lavt varmebehov vil også gi enklere og dermed rimeligere varmeanlegg.

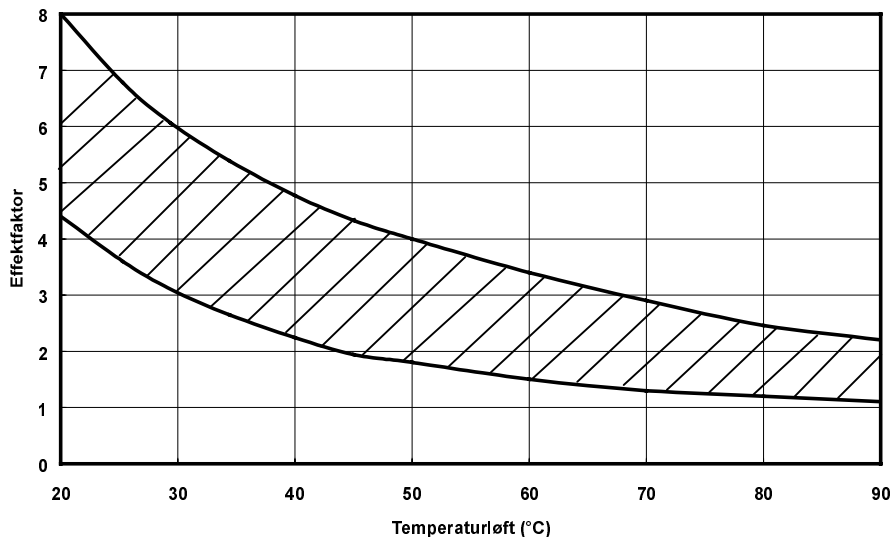


Fig. 1.1. Forholdet mellom avgitt varmeeffekt og tilført elektrisk effekt (effekt faktoren) for ulike typer varmepumper avhengig av temperaturforskjellen mellom varmeopptak og varmeavgivelse (temperaturløftet).

2. Varmt forbruksvann

I tillegg til varmt vann til oppvarmingsformål er det også behov for varmt forbruksvann. Varmt forbruksvann utgjør 15 - 20 % av det samlede energibehovet for en vanlig bolig. Dette forbruksvannet bør i perioder holde temperaturer på ca. 60 °C for å unngå dannelsen av Legionella bakterier. I denne sammenhengen vil direkte bruk av solvarme spesielt i sommerhalvåret være gunstig. I perioder med stor solintensitet er solfangeranlegg i stand til å produsere vann av høy temperatur. Utnyttelsesgraden vil være avhengig av muligheten for varmelagring. Effektiv utnyttelse av alternative, lavkvalitets energikilder krever gjerne en form for varmelagring. Mest effektivt er å bruke en vanntank, men også betong, som har halve varmekapasiteten av vann, kan brukes som varmelager.

Generelt vil produksjon av varmt tappevann også kreve tilskudd av høykvalitetsenergi, mens lavkvalitets energikilder fortrinnsvis utnyttes til forvarming. Høykvalitets energikilder kan for eksempel være elektrisitet i form av vannkraft, bioenergi, etc. Da det er relativt beskjedne energitilskudd det er snakk om (< 10 % av samlet energibehov), kan det også være aktuelt å utnytte gass (propan eller naturgass). Direkte bruk av gass til ettervarming av varmt vann er en enkel og meget energieffektiv løsning som gir mulighet for stort effekttilskudd med meget høy virkningsgrad. Gass kan også brukes til ettervarming av vannet i vannbårne varmeanlegg ved lave utelufttemperaturer. En slik toppplastdekning medfører normalt relativt beskjedne energimengder (5-10 % av bygningens årlig varmebehov). Et enkelt gassanlegg kan også

dekke hele effekt- og energibehovet til romoppvarming og varmtvannsberedning på en meget energieffektiv måte (virkningsgrad $\geq 90\%$).

3. Lavtemperatur varmeanlegg

Lavtemperatur varmeanlegg forutsetter store heteflater som kan inkludere bruk av gulv-, tak- og veggarealer. Samtidig må varmemotstanden fra varmerørene til heteflatens overflate være minst mulig. Når en overflate i rommet oppvarmes over omgivelsestemperaturen vil varmeavgivelsen foregå ved naturlig konveksjon og stråling. Forholdet mellom den delen av varmen som avgis ved stråling til personer eller andre kaldere overflater i rommet og ved varmeoverføring til omliggende luft (konveksjon), har stor betydning for rommets termiske komfort. Varmeovergangstallet ved naturlig konveksjon kan forenklet uttrykkes som:

$$\alpha_{\text{konv}} = K \cdot \Delta t^n \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Eksponenten $n \approx 0,3$.

For gulvvarme er konstanten $K_{\text{gulv}} \approx 2,0$ mens den for takvarme $K_{\text{tak}} \approx 0,4$.

Varmeovergangstallet for takvarmeanlegget ligger på grunn av termisk stabilitet vesentlig lavere enn for et gulvvarmeanlegg. Imidlertid kan denne forbedres ved å plassere tilluftsventiler i taket så man oppnår en mer tvungen konveksjon. Når det gjelder konvektiv varmeavgivelse fra veggflater vil flatens høyde ha stor betydning. For å unngå økt varmetap bør varmeanleggets heteflate fortrinnsvis plasseres på flater som ikke er direkte eksponert for uteluften.

Varmeovergangstallet ved stråling er uavhengig av flatens orientering og kan forenklet uttrykkes som:

$$\alpha_{\text{stråling}} \approx 4 \cdot \epsilon_{12} \cdot \sigma \cdot T_m^3 \quad (\text{W/m}^2\text{K}^4)$$

T_m = Gjennomsnittlig overflatetemperatur for rommets omhyllingsflater

σ = Stefan-Boltzmanns konstant = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

ϵ_{12} = Emisjonstallet

Varme i gulvet er gunstig for å sikre effektiv varmeoverføring og dermed bruk av lave vanntemperaturer. Gulvvarmeanlegg er da også særlig attraktivt og som de fleste forbinder med god komfort og godt inneklima. Ideell overflatetemperatur for gulv for personer med lett innendørs fottøy er $23\text{ }^\circ\text{C}$ med akseptabelt variasjonsområde $21 - 26\text{ }^\circ\text{C}$. For barn som har mye av sin aktivitet på gulvet, vil gulvtemperaturer under $22\text{ }^\circ\text{C}$ kunne oppleves som kalde. Så høye gulvtemperaturer kan ikke oppnås om vinteren mot uoppvarmede rom eller mot grunnen uten bruk av gulvvarme eller andre oppvarmingssystemer som kan heve gulvtemperaturen gjennom varmestråling (tak/veggvarme). For å opprettholde samme grad av varmekomfort kreves det at summen av lufttemperatur og midlere strålingstemperatur skal være konstant. Man definerer gjerne denne middeltemperaturen som en operativ temperatur som kan fastsettes av uttrykket:

$$T_{\text{operativ}} = \frac{1}{2}[\sum(A \cdot T / \sum A) + T_{\text{luft}}]$$

T = Overflatetemperatur

A = Areal av aktuell flate

T_{luft} = Lufttemperaturen

Ved strålevarmesystemer av typen gulv-, tak- og veggvarme øker midlere strålingstemperatur for rommet. For å opprettholde samme operative temperatur, må økt stråling kompenseres ved å senke lufttemperaturen. Lufttemperaturen kan senkes en grad for hver grad økning i midlere strålingstemperatur. Med godt isolert klimaskjerm vil det med bruk av gulvvarme i prinsippet være mulig å senke lufttemperaturen med inntil 2,0 °C, fra 22 til 20 °C, uten tap av komfort. For å kunne oppnå denne temperatursenkningen må det stilles spesielt strenge krav til vinduene som er den bygningsdel som har størst varmetap. Skal man unngå kaldras fra vinduer med høyde under 1,5 m, bør glassrutene ha U-verdi i størrelsesorden 1,0–1,2 W/m²K (klimaavhengig). Utvikling av nye vindustyper med gassfylling og lavemisjonsbelegg, har ført til at tolags vinduer har U-verdi for glasset på under 1,0 W/m²K. Det finnes også tolags vakuumvinduer som har U-verdi i samme størrelsesorden.

Riktig utførte gulvvarmeanlegg er energieffektive fordi strålingstilskuddet (50-60 %) gjør det mulig å opprettholde godt inneklime med noe lavere lufttemperatur [1]. Lavtemperatur strålevarmeanlegg av typen gulv-, vegg- og takvarme vil sikre høy termisk komfort med lavest mulig lufttemperatur. Da man kan holde lave lufttemperaturer uten at dette går på bekostning av varmekomforten, bør det i prinsippet være mulig å ta ut betydelige energigevinster med bruk av strålevarmesystemer, se vedlegg. Disse anleggene er derfor spesielt gunstig i syke- og pleieinstitusjoner, barnehager, etc. der man på samme tid har ulikt aktivitetsnivå. Forhold som i eksemplet institusjonsbygg er av stor betydning både for pasienter og betjening.

Ved å senke innelufttemperaturen reduseres både transmisjons- og ventilasjonsvarmetapet. I tillegg til energibesparelsen, ca. 5 % pr. grad redusert innelufttemperatur, vil lavere lufttemperatur gi høyere relativ fuktighet. Man reduserer dermed problemet med tørre slimhinner på grunn av tørr inneluft ved lave utelufttemperaturer. Dette er et økende problem på grunn av nye krav om større tilførsel av friskluft. Lavere lufttemperatur vil også redusere avgassing fra materialer.

3.1 Varmebehov og temperaturnivå

Skal man oppnå godt inneklime i forbindelse med gulvvarmeanlegg, må visse kriterier være oppfylt. Maksimal temperaturen på gulvoverflaten i oppholdsrom er begrenset til 26 - 27 °C. Det betyr det at dimensjonerende varmebehov ikke må overstige 60 - 70 W/m² gulvflate, se *fig. 3.1*. Nominell varmeavgivelse fra en gulvoverflate q kan uttrykkes som:

$$q = 8,92 \cdot (\Delta t)^{1,1} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Δt = differansen mellom gulvets overflatetemperatur og romlufttemperaturen

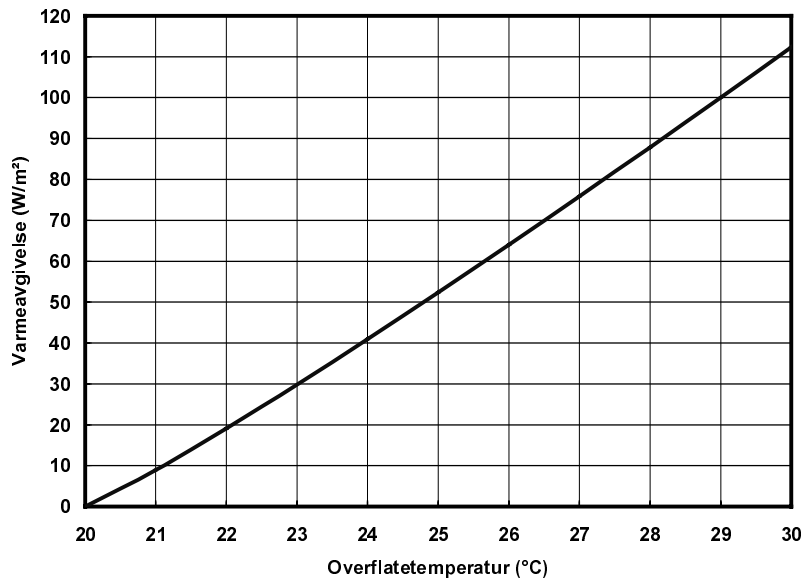


Fig. 3.1. Varmeravgivelse fra gulvvarmeanlegg som funksjon av gulvets overflatetemperatur. Romtemperaturen er 20 °C.

Figur 3.2 viser eksempel på varmeavgivelse fra lette gulvvarmekonstruksjoner (fig. 12.2 og 12.8) uten betong som funksjon av midlere vanntemperatur. Gulvkonstruksjonene er bygd opp med 9 eller 15 mm parkett over varmerørene, Al-varmefordelingsplate og varmeledende masse eller Al-profil rundt varmerørene. Ved å øke vanntemperaturen med 5 °C fra 30 til 35 °C, vil gulvets overflatetemperatur øke med ca. 1 °C og varmeavgivelsen med ca. 10 W/m². I dette eksemplet vil en grads økning av vanntemperaturen i lavtemperatursområdet, øke varmeavgivelsen fra gulvoverflaten på ca. 2,0 W/m².

Økt varmebehov vil samtidig gi større forskjeller mellom vanntemperaturen og gulvets overflatetemperatur. Det er derfor viktig å sikre god varmeovergang mellom vannrør og heteflate. For å kunne utnytte lave vanntemperaturer er det derfor viktig at varmebehovet er så lavt som mulig samtidig som man har en jevn varmefordeling over hele heteflaten.

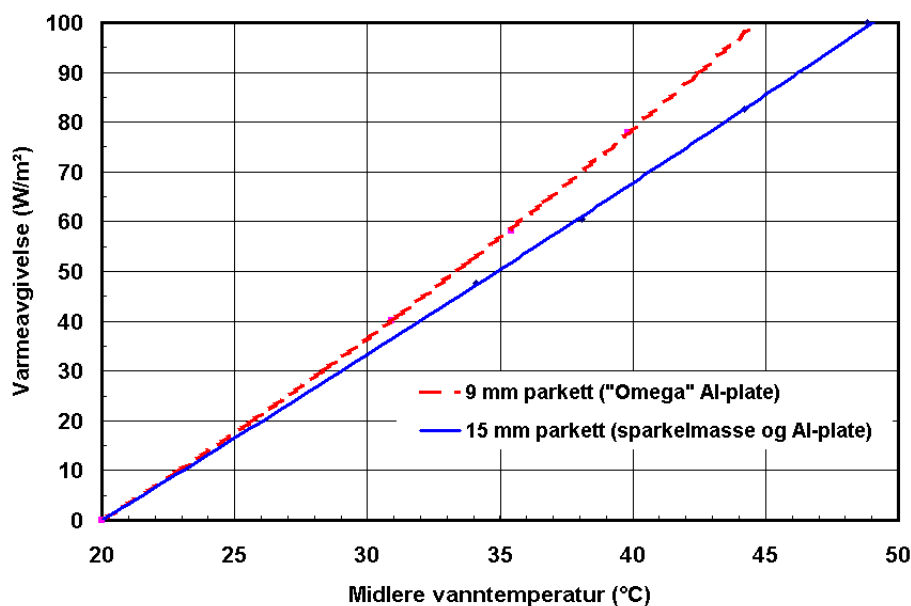


Fig. 3.2. Måling av varmeavgivelse fra et lett gulvvarmeanlegg med 9 og 15 mm parkett over varmerør og varmfordelingsplate. For gulvet med 15 mm parkett ligger varmerørene i spor i EPS-isolasjon omgitt av ledende masse (kvartsholdig flytesparkel e.l.) med heldekkende 0,5 mm Al-plate, se fig. 12.2. For gulvet med 9 mm parkett ligger rørene i spor i porøse trefiberplater med profilerte 0,5 mm Al-plater (omega-plater), se fig. 12.8. Romtemperaturen er 20 °C.

For at gulvvarmeanlegget alene skal tilfredsstille varmebehovet med vanntemperaturer på 30 – 35 °C, fremgår det av fig. 3.2 at samlet varmebehov må ligge i området 35 – 55 W/m² gulvflate, noe avhengig av utførelsen. Hvis gulvet er eneste heteflate, betyr det temperaturer på gulvoverflaten på 23,5 – 25 °C. Et dimensjonerende varmebehov på 35 W/m² med maksimal vanntemperatur 30 °C vil normalt kreve, i tillegg til høy isolasjonsstandard, en form for gjenvinning av varmeenergien i avtrekksluften. I en bolig uten varmegjenvinning vil for eksempel ventilasjons- og transmisjonsvarmetapet være omtrent like store. Det har derfor liten hensikt å foreta kostbare marginale forbedringer av transmisjonstapet uten at man samtidig reduserer ventilasjonstapet.

Ved anlegg av lavtemperatur gulvvarme for gulv på grunnen eller mot det fri, er det spesielt viktig med god varmeisolasjon i gulvet og høyisolerende vinduer for å unngå kaldras.

For å kunne utnytte lave vanntemperaturer i bygninger med større varmebehov kan et tiltak være å øke heteflatens areal. Man kan for eksempel bruke en kombinasjon av tak- og gulvvarme. Heteflatene bør fortrinnsvis legges i tilknytning til mellombjelkelag, gulv på grunnen eller innervegger. Ved å unngå flater direkte eksponert mot ytterluften, begrenser man varmetapet fra varmeanlegget. Generelt vil en økning av heteflaten kreve lavere overflatetemperaturer for samme totale varmeavgivelse.

Ofte er det problematisk å dekke varmebehovet med gulvet som eneste heteflate. Beboerne har som regel meget bestemte oppfatninger av hvordan gulvoppbygging skal være og hvilke gulvmaterialer som skal brukes. Tradisjonelt er det gjerne brukt gulvløsninger som krever bærende topplag med 22 mm sponplater, parkett, furugulv, skipsgulv e.l. Disse løsningene er normalt ikke forenlig med bruk av lave vanntemperaturer. Det er ikke uvanlig at deler av gulvflaten dekkes med tepper, møbler e.l. som reduserer effektiv heteflate. Permanente høye

vanntemperaturer, som lokalt kan gi høye overflatetemperaturer, kan også skape problemer med uttørring av gulvkonstruksjonen. Produsenter av parkett eller heltregulv setter derfor også strenge krav til maksimal tillatt overflatetemperatur. Denne temperaturgrensen som normalt settes til 26 °C, bør imidlertid ikke skape problemer for dagens godt isolerte bygninger.

Det er normalt enklere å anlegge lavtemperatur takvarme fordi man her ikke har de samme høye funksjonskrav til utførelsen som for gulvet. Nå er imidlertid varmeavgivelsen fra gulvflaten, der halvparten av varmen avgis ved konveksjon og halvparten stråling, vesentlig mer effektiv enn for takvarme der en større andel av varmen avgis ved stråling. Dette har tidligere skapt problemer med overtemperaturer for rom med store varmebehov når takvarme er eneste varmekilde. For godt isolerte rom med moderate eller beskjedne varmebehov, vil takvarme gi tilnærmet samme komfort som gulvvarmeanlegg. Ved å kombinere tak- og gulvvarme vil arealet på heteflatten økes betydelig som gir mulighet for å kunne utnytte meget lave vanntemperaturer.

Hvis man har et rom med dimensjonerende varmebehov 65 W/m², fremgår det av *fig. 3.2* at dette krever en gjennomsnittlig vanntemperatur på ca. 40 °C hvis gulvvarmeanlegget skal dekke hele varmebehovet. Overflatetemperaturen på gulvet ligger da på ca. 26 °C, se *fig. 3.1.*, eller tett opp mot maksimal akseptabel overflatetemperatur. Ved å senke gjennomsnittlig vanntemperatur til 32 °C avgir gulvvarmeanlegget ca. 45 W/m² med overflatetemperaturen 24,5 °C. Resten av varmebehovet på 20 W/m² kan for eksempel dekkes av et takvarmeanlegg uten at man har behov for å øke vanntemperaturen. En temperatur på gulvoverflaten på 23 - 24 °C regnes for øvrig som nær optimal når det gjelder komfort i vanlig oppholdsrom.

Det å bruke større deler av rommets begrensingsflater som heteflate er selvfølgelig også et spørsmål om kostnader. Det avgjørende er hvordan man er i stand til å integrere varmeanlegget i bygningskonstruksjonen. Selve varmerørene i plastmaterialer er relativt rimelige. Det er derfor viktig å komme frem til utførelser, gjerne prefabrikking, som forenkler rørleggingen og medfører at varmeanlegget inngår som en integrert del av bygningskonstruksjonen. Det finnes eksempler på rasjonelle løsninger der gulv- og takvarmeanlegget inngår som del av lydisolasjonen eller del av normal gulvoppbygging. Takvarmeanlegg har den store fordelen at det lett kan kombineres med kjøling i sommerhalvåret. Ved store kjølebehov kan også gulvvarmeanlegget brukes til kjøling.

4. Grunnleggende forutsetninger for lavtemperatur varmeanlegg

For å kunne utnytte lave vanntemperaturer til oppvarmingsformål er følgende parametre av stor betydning for temperaturnivået:

- Lavt varmebehov
- Størst mulig heteflate
- God varmeovergang mellom varmerør og heteflate

Vi har i denne sammenhengen valgt å se bort fra evt. bruk av lavtemperaturvarme til for- eller ettervarming av ventilasjonsluften. Ved bruk av varmeveksler med høy virkningsgrad, bør dette i de fleste tilfellene være unødvendig for normale utelufttemperaturer.

5. Energi- og effektbehov

Følgende forhold har stor betydning når det gjelder å sikre boligen lavt energi- og effektbehov:

- Lavt transmisjons- og ventilasjonstap
- Energieffektiv planløsning, husutforming og plassering
- Energieffektive installasjoner
- Energifleksibilitet, varmelagring

Prinsippskissen foran viser aktuelle installasjoner som kan inngå i en lavenergibolig. Innføring av energifleksible lavtemperatur varmeanlegg med mulighet for varmelagring og dermed effektutjevning, vil bidra til god utnyttelse av ulike energikilder. Dette er også tilfellet når vannkraft er eneste energikilde.

Figur 5.1 viser samlet årlig forbruk av kjøpt energi for en enebolig isolert etter tidligere og ny byggeforskrift og for en lavenergibolig. Lavenergiboligen har noe lavere U-verdi ($1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) for vinduene enn forskriftenes krav ($1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$), samtidig som det er forutsatt behovstyrt ventilasjon med varmegjenvinning av avtrekksluften. Årlig energibehov til romoppvarming reduseres da i referanseboligen (138 m^2 , Oslo klima) [2] fra ca. 12000 kWh til ca. 5400 kWh . Vel så viktig for dimensjonering av varmeanlegget er at dimensjonerende effekt til oppvarming reduseres fra $7,7$ til $4,2 \text{ kW}$ eller fra 55 til ca. 30 W/m^2 gulvflate, se fig. 5.2.

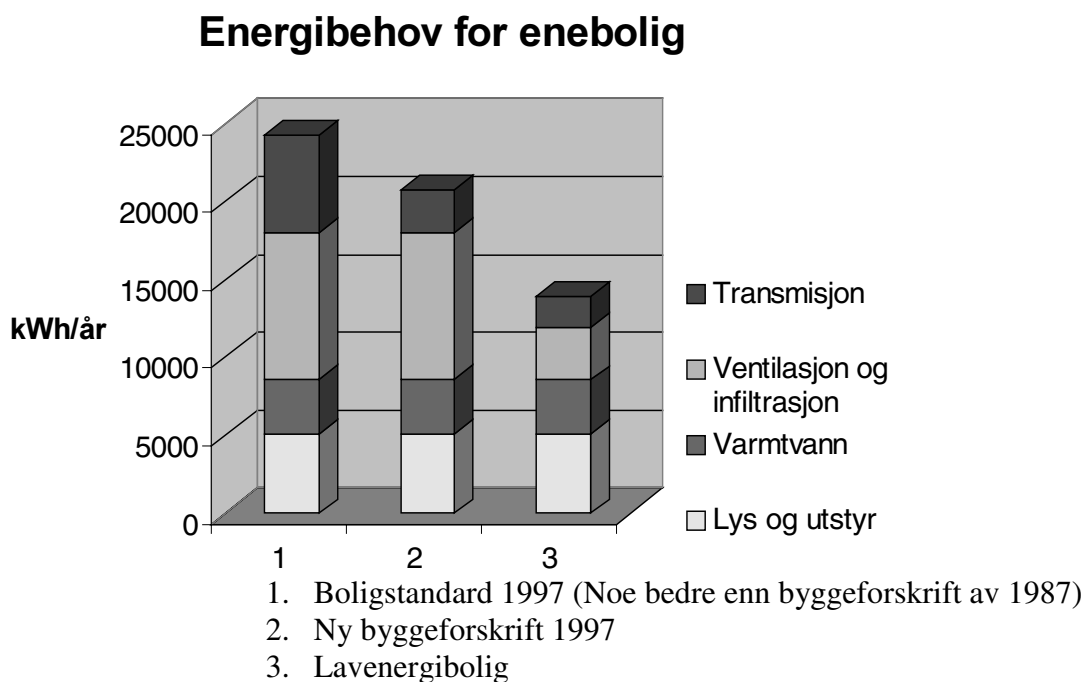


Fig. 5.1. viser samlet årlig forbruk av kjøpt energi for en enebolig (138 m^2 Oslo klima) isolert etter normal utførelse i 1997 før innføring av ny byggeforskrift, isolert etter ny byggeforskrift og utført som en lavenergibolig med bedre vinduer og varmegjenvinning av avtrekksluften.

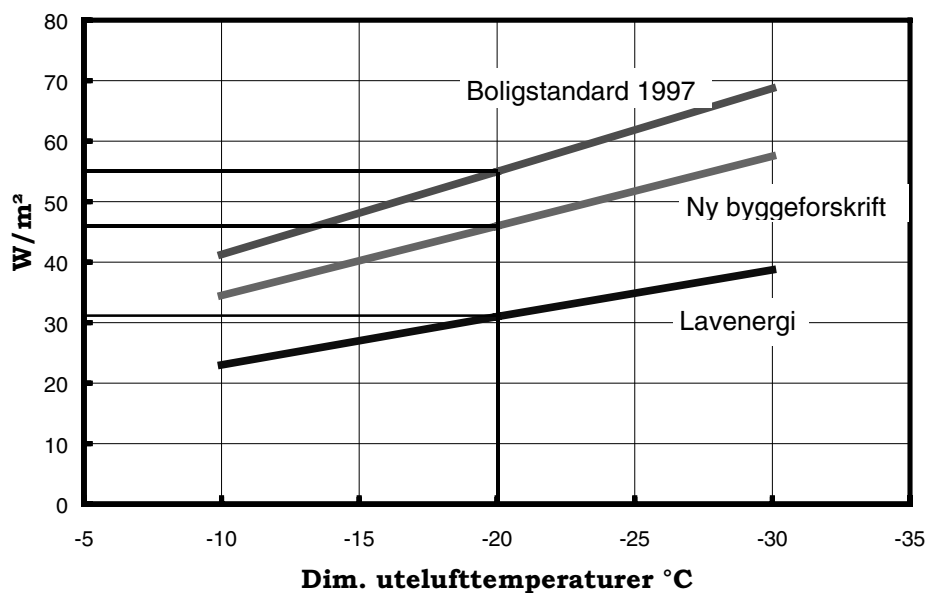


Fig. 5.2. Effektbehov til romoppvarming for referansebolig (138 m² Oslo klima) for tre alternative utførelser.

6. Varmeanlegg i gulv på grunnen

Ny byggeforskrift angir U-verdi for gulvet på 0,15 W/m²K. Dette betyr isolasjonstykkelse på ca. 200 mm for boliger i normal størrelse (grunnflate ca. 100 m²). Hvis varmeanlegget er montert i gulv på grunnen, vil dette gi økt varmetap fra gulvet til grunnen i forhold til gulv uten gulvvarme.

6.1 Varmetap

Figur 6.1 viser eksempel på temperaturer mot gulvisolasjonen over året med bruk av gulvvarme for forskjellige utførelser av gulvkonstruksjonen. I gulv der bærende sjikt ligger over varmerørene, vil temperaturen mot gulvisolasjonen være vesentlig høyere enn overflatetemperaturen på gulvet. Det skyldes større varmemotstand for materialene over varmerørene enn under mot gulvisolasjonen. For lette, lavtemperatur varmeanlegg vil denne temperaturforskjellen være betydelig mindre. Baderom med betong og fliser vil ha maksimal overflatetemperatur på ca. 30 °C. Til gjengjeld vil denne temperaturen være nær konstant over hele året.

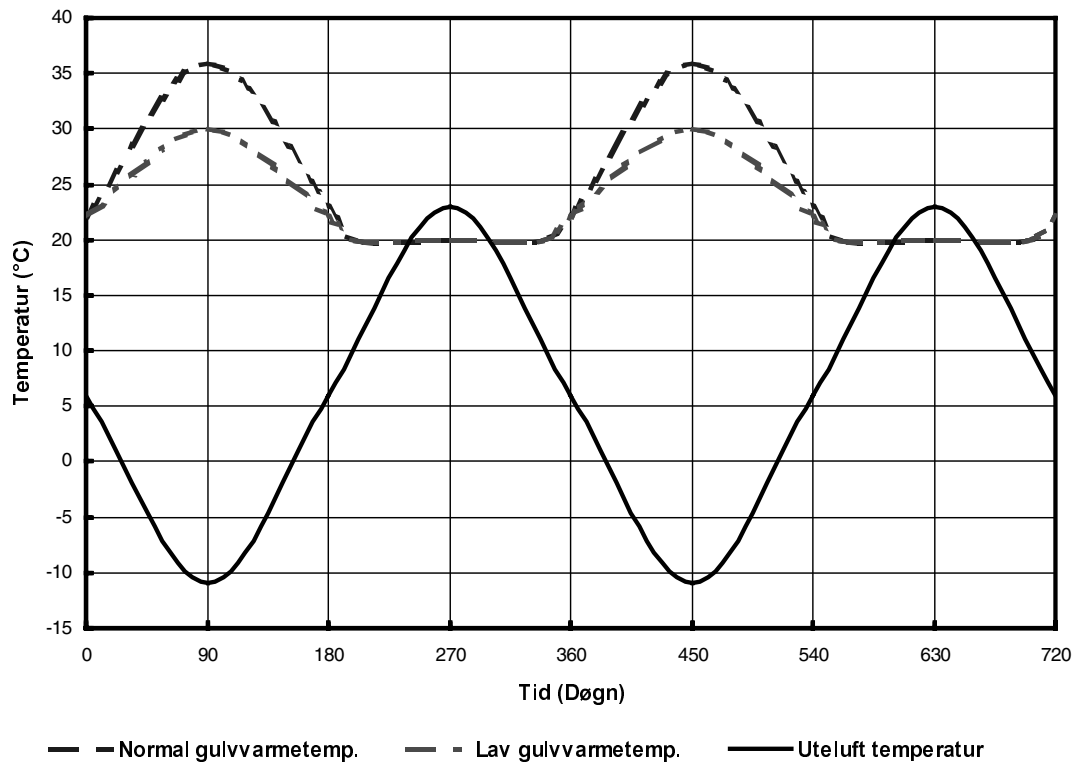


Fig. 6.1. Eksempel på temperaturforløp mot gulvisolasjonen ved bruk av gulvvarme, utført som normal- og lavtemperaturanlegg. Det er inntegnet laveste femdøgns middeltemperaturer for Oslo der dimensjonerende frostmengde er 25000 h°C og årsmiddeltemperatur 6,0 °C.

Figur 6.2 viser spesifikt varmetap fra gulv på grunnen (ca. 100 m² grunnflate) med og uten gulvvarme. I fig. 6.2 er det forutsatt at varmeanlegget bare er i drift i vinterhalvåret. På grunn av opplagret varme under gulvet i fyringssesongen, er varmetapet fra gulvet til grunnen i sommerhalvåret noe mindre enn om det ikke var brukt gulvvarme. Lavere varmetap fra gulvet i sommerhalvåret har normalt ingen betydning for energibehovet til oppvarming. Det er forutsatt at gulvutførelsen er slik at varmeanlegget bare settes i drift når det er et reelt varmebehov. Vi har da valgt å se bort fra tilleggsvarmetap fra badegulv der man normalt har drift hele året. På grunn av beskjedent gulvareal vil dette tapet være relativt lite. Det er en fordel om baderommet ligger sentralt i boligen [2]. Man vil da i større grad kunne utnytte varme som magasineres i grunnen, fig. 6.2.

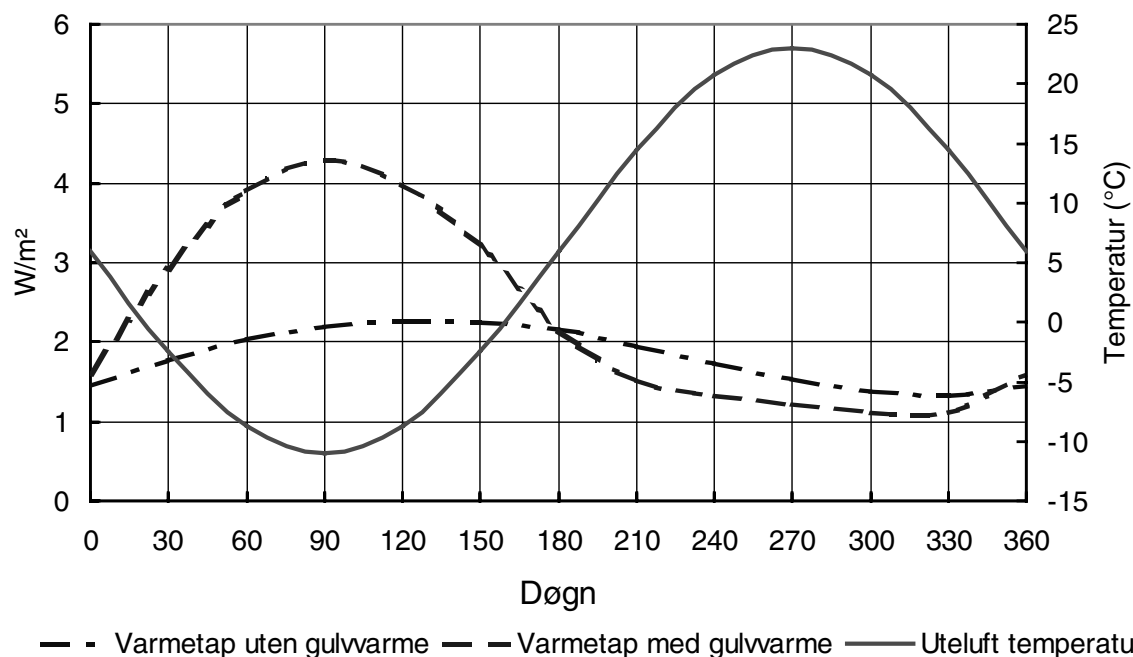


Fig. 6.2. Spesifikt varmetap over året fra gulv på grunnen med og uten gulvvarme. Det er brukt 200 mm gulvisolasjon og boligen er isolert etter ny byggeforskrift. (Oslo klima og ca. 100 m² grunnflate)

7. Gulvvarme og alternative varmeanlegg

Det fremgår av fig. 6.2 at varmetapet fra gulv med gulvvarme under dimensjonerende forhold omtrent er dobbelt så stort som varmetapet uten bruk av gulvvarme. Gjennomsnittlig varmetap til grunnen fra gulvflaten med gulvvarme og 200 mm gulvisolasjon, er ca. 4,3 W/m² under dimensjonerende forhold. En yttervegg med 200 mm tykk isolasjon (U-verdi 0,22 W/m²K) uten veggvarme vil ha et spesifikt varmetap på 8,8 W/m², eller det dobbelte av gulvet med gulvvarme. Tak mot kaldt loft med ca. 300 mm isolasjon (U-verdi 0,15 W/m²K) har tilsvarende spesifikt varmetap på 6,0 W/m². Dette viser at det er vesentlig gunstigere å plassere varmeanlegg, som gir lokale overtemperaturer, i godt isolerte gulv på grunnen enn i tilknytning til ytterflater eksponert mot utelufttemperaturer f.eks. takvarme mot kaldt loft.

Når varmeelementer plasseres under vindu vil både vindu og yttervegg nær varmeelementet bli oppvarmet. Overtemperaturer på ytterveggen bak varmeovnene og forsert varmluftsstrøm over kald vindusflate vil bidra til å øke transmisjonsvarmetapet. Dette tilleggsvarmetapet kan ligge i størrelsesorden 2 - 3 %, avhengig av bygningens varmebehov og ovnstype. Det er derfor ikke helt korrekt å snakke om 100 % virkningsgrad for elektriske varmeovner plassert på yttervegger. Bare når varmeanleggene er plassert på innervegger vil all varme nyttiggjøres til romoppvarming. En plassering av varmeanlegg på innervegger er mulig med opprettholdelse av godt inn klima hvis det brukes høysisolerte vinduer som eliminerer kaldras.

Ovner og kaminer har høy overflatetemperatur og plasseres gjerne i tilknytning til innervegger. Når avstanden fra ovnen blir noen meter vil romvinkelen mellom ovn og person bli liten (stråleenergien som treffer personen avtar med kvadratet av avstanden). Midlere strålingstemperatur vil bli lav og dette må kompenseres ved å heve lufttemperaturen tilsvarende. Den sterkt konvektive varmeavgivelsen gir da uønskede høye

temperaturforskjeller mellom tak og gulv. Punktvarmekilder med høy overflatetemperatur bidrar derfor lite til å heve gulvtemperaturen og til å minske strålingsasymmetrien generert av kalde yttervegger og vinduer. Resultatet vil være høy lufttemperatur, økt ventilasjons- og transmisjonstap og dårligere inn klima.

8. Energitap og gulvisolasjon

Ny byggeforskrift angir U-verdi for gulv på grunnen på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ som betyr isolasjonstykkelse på ca. 200 mm. Figur 8 viser varmetapet fra gulvvarmeanlegget til grunnen over fyringssesongen som funksjon av gulvets isolasjonstykkelse. Som generelt for isolerte konstruksjoner avtar effekten av å øke isolasjonstykkelsen med økt isolasjonstykkelse.

Man oppnår relativt liten reduksjon i varmetapet over fyringssesongen ved å øke isolasjonstykkelsen utover 200 mm. En isolasjonstykkelse på 200 mm vil derfor også være tilfredsstillende for gulv med gulvvarme. Avhengig av utførelsen, vil økt energitap fra gulvvarmeanlegget til grunnen ligge i området 3 – 8 % av samlet varmeavgivelse fra varmeanlegget over fyringssesongen. Minst energitap oppnås ved å bruke gulvvarmeanlegg som kan utnytte lave vanntemperaturer.

8.1 Temperaturnivå

For å redusere varmetapet er det viktig å utføre gulvkonstruksjonen slik at man kan bruke lavest mulig vanntemperatur. Lave vanntemperaturer vil redusere overtemperaturen mot gulvisolasjonen og dermed varmetapet mot grunnen. Figur 8.1 viser varmetapet fra gulvet over fyringssesongen. Gjennomsnittlige temperaturer over gulvflaten (ca. 100 m^2) mot isolasjonslaget, under dimensjonerende forhold, er henholdsvis $36 \text{ }^\circ\text{C}$ og $30 \text{ }^\circ\text{C}$, se fig. 6. Laveste målte femdøgns middeltemperaturer for Oslo er brukt som dimensjonerende klimadata for beregningene.

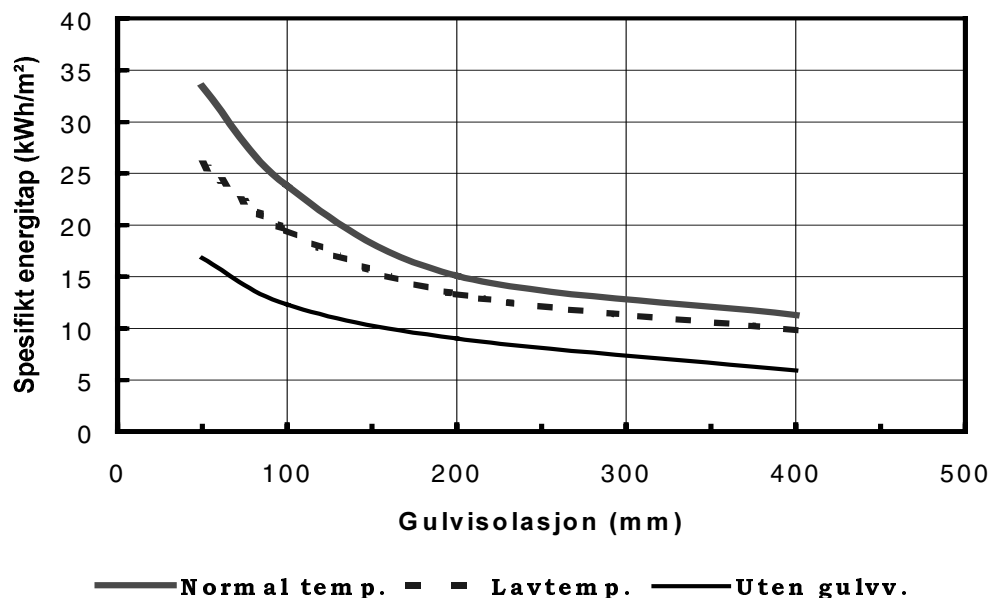


Fig. 8.1. Energitap fra gulv på grunnen over fyringssesongen med og uten gulvvarme.

Figur 8.1 viser at økningen i varmetapet mot grunnen over fyringssesongen med bruk av gulvvarme ligger mellom 60 og 100 %. Med 50 mm tykk gulvisolasjon vil spesifikt energitap

fra gulv med gulvvarme over fyringssesongen økes fra 17 til 34 kWh/m². For en bolig med gulvvarme og grunnflate 100 m² vil tilleggsenergitapet ligge på 1700 kWh som tilsvarer halve varmtvannsforbruket. Hvis man bruker fliser eller annet gulvbelegg som føles kaldt ved berøring, står gjerne varmeanlegget på store deler av året. Man kommer da hurtig opp i et energitap i samme størrelsesorden som varmtvannsforbruket. Med mindre tykkelsen på gulvisolasjonen er minst 100 mm, bør det generelt frarådes å bruke gulvvarme som eneste varmekilde for gulv på grunnen. Det kan da være en mer energiøkonomisk løsning å bruke gulv- eller takvarme i et mellombjelkelag eller bruke gulvvarme som en grunnvarme (komfortvarme) og supplere med andre varmekilder.

9. Varmemagasin

Karakteristisk for bruk av fornybare energikilder er store variasjoner i energiproduksjonen eller begrenset effektilgang. Da det ikke nødvendigvis er overensstemmelse mellom energiproduksjon og energibehov, vil det være behov for energilagring. Det er særlig ved bruk av alternative fornybare energikilder som solvarme, bioenergi og varmepumpesystemer at varmelageret er en vesentlig forutsetning for god energiøkonomi. Ved bruk av bioenergi for eksempel i form av vedfyring vil bruk av varmelager redusere skadelige utslipp i det man kan kjøre anlegget under optimale betingelser. God energieffektivitet kan betinge energifleksible løsninger, men kan også omfatte bruk av varmelager for å utjevne effektbehovet over døgnet. Man kan for eksempel utnytte ledig kapasitet i overføringsnettet og produksjonsapparatet for elektrisk kraft i laveffektperioder (nattkraft) og dermed vesentlig redusere overføringstapene. Da vi allerede i dag har behov for varmelagring til vår varmtvannsforsyning for å kunne håndtere store effekttopper, er det nærliggende å kombinere dette lageret med et varmelager for oppvarming, eller evt. bruke et felles varmelager til forvarming av tappevannet. Energieffektiv bruk av våre boliger med dag- eller nattsenkning av innelufttemperaturen favoriserer bruk av varmelager der man hurtig kan trekke ut store effekter. Vann er på grunn av stor volumetrisk varmekapasitet, det dobbelte av betong, i denne sammenhengen et meget effektivt medium for varmelagring. Vann kan med fordel både brukes både som energilager og energibærer. Da det ofte kan være behov for relativt store varmelager (avhengig av energikilden), bør man evt. også utnytte tunge bygningskonstruksjoner til varmelager hvis disse ligger innenfor klimaskjermen. Både for å begrense kostnader og arealbehov er det viktig at et eventuelt vannmagasin kan holdes på en rimelig størrelse. Dette er mulig hvis varmeanlegget dimensjoneres for bruk av meget lave vanntemperaturer (maks. 30 °C). Optimal størrelse, plassering og utforming av et kombinert varmemagasin vil være avhengig av energitilgangen, husets varmebehov, planløsning og varmeanlegg.

Varmelegg med mulighet for varmelagring og som samtidig kan nyttiggjøre lave vanntemperaturer, vil være en vesentlig forutsetning for energifleksibilitet og optimal utnyttelse av energiressursene. Fremtidens bygninger bør derfor utstyres med en form for vannbårne varmesystemer med varmelager.

9.1 Utforming av varmelageret

Kriterier for et effektivt kombinert varmelager for varmt forbruksvann og varmt vann til varmeleggene, er at god temperatursjiktning kan opprettholdes i ulike driftssituasjoner og at reelt varmetap (varmetap som ikke kan utnyttes) fra varmelageret er så lite som mulig. God temperatursjiktning kan også ha strukturelle fordeler idet man har de laveste temperaturene i bunnen av varmelageret der vanntrykket er størst. Dette gjør at man står friere når det gjelder å velge materialer i varmelageret. Som det vises i prinsippkissen på førstesiden vil man

oppnå en meget effektiv temperatursjiktning ved å bruke et høyt varmelager. Varmelageret kan i prinsippet bestå av flere vanntanker, men den enkleste løsningen er å bruke en vanntank evt. supplert med en mindre tank for ettervarming av varmt tappevann. Man kan bruke vanlige akkumulator ståltanker beregnet for overtrykk eller konstruere egne trykkløse tanker i forskjellige typer plastmaterialer, aluminium, e.l. Da lavtemperatur varmeanlegg vesentlig består av ikke korrosive materialer (plastrør), unngår man generelt korrosjonsproblemer hvis varmelageret utføres av plast, rustfritt stål og til dels aluminium.

Det er argumenter for og mot bruk av varmelager uten overtrykk. Trykkløs utførelse av varmelageret gir den enkleste anleggsoppbyggingen idet varmelageret vil kunne tjene både som ekspansjonsbeholder og luftutskiller. Utførelsen med trykkløst varmelager vil føre til lave driftstrykk i varmeanlegget. Lave driftstrykk gjør varmeanlegget mer følsomt for utskillelse av luft. Man kan også få problemer med å bruke tradisjonelle komponenter i varmeanlegget. Komponenter som ofte krever et visst minste overtrykk. Nå vil lavtemperatur varmeanlegg normalt kjøres med noe større vannhastigheter i varmerørene. Dette er ønskelig for å redusere temperaturfallet over rørstrekket og dermed gulvoverflaten. Ved samtidig å bruke en neddykket pumpe uten sugeledning vil man lettere unngå problemer med luft i anlegget. Man kan også unngå problemer med luftutskillelse ved å bruke et høyt varmelager der øvre vannstand ligger godt over høyest plasserte varmeanlegg. Varmelageret tjener da som et høytliggende åpent ekspansjonskar.

Figur 9.1 viser prinsipptegning av en trykkløs plasttank. Varmelageret er integrert i bygningskonstruksjonen som inngår som del av tankens bæresystem. På grunn av relativt lave vanntemperaturer og vanntrykk, kan det brukes rimelige plastmaterialer av typen polypropylen (PP), high-density polyetylen (PE-50), e.l. Varmestabilisert polypropylen PP tåler en konstant driftstemperatur på 90 ° og mer kortvarige temperaturtopper på 110 °C. Polyetylen PE-50 tåler tilsvarende 60 °C og 80 °C. Det avgjørende for levetiden for en plasttank vil foruten vanntemperaturen være påtrykt spenning på grunn av vanntrykket. Hvis tanken ikke utsettes for overtrykk og vannivået har enn høyde på for eksempel 3 m, vil maksimalt vanntrykk i bunnen av tanken bare være 0,3 bar. Dette vil kunne gi helt ubetydelige spenninger i selve tanken. Hvis tanken utføres slik at strekkspenningen er mindre enn 0,1 N/mm², vil man kunne stå relativt fritt når det gjelder valg av plastmaterialer.

Størst frihet når det gjelder plassering og montering oppnås når tanken er selvbærende. Akkumulatortanken må da utføres sylindereformet med kupert bunn uten skarpe kanter. Dette er en effektiv form rent styrkemessig som også er lettere å installere og skifte ut. Problemet med en sirkulær tank er at den må være relativt høy for å få tilstrekkelig kapasitet og samtidig være mulig å få gjennom døråpninger. For eksempel vil en vanntank med innvendig diameter 700 mm og høyde 4 m ha et vannvolum på vel 1,5 m³.

Beredertanken for varmt forbruksvann med fullt nettrykk, kan utføres i syrefast stål og senkes ned i varmemagasinet, se *fig. 9.1*. Alternativt kan varmevekslingen foregå ved å bruke en varmespiral som plasseres i toppen av varmelageret, se skisse på førstesiden. Hvis vanntemperaturen i varmelageret er under 60 °C kreves en ekstern ettervarmingstank for forbruksvannet. For å kunne utnytte varmetapet fra varmelageret bør dette plasseres i tilknytning til rom med permanent varmebehov som bad, vaskerom, etc. Varmelageret bør isoleres så varmetapet fra tanken ikke overstiger 100 W. For å redusere varmelagerets ytterdimensjoner til et minimum, bør det brukes isolasjonsmaterialer med lavest mulig varmeledningsevne, for eksempel polyuretan som i preisolerte fjernvarmerør.

I mindre boliger er det spesielt viktig at varmelageret er minst mulig arealkrevende. For vanlige husbankboliger med gulv på grunnen og livsløpsstandard, har man relativt knapphet på areal i hovedetasjen. Det kan da være fordel å bruke et varmelager med lite tverrsnittareal og utnytte full takhøyde. Selvbærende akkumulatortanker er normalt formet som en sylinder. En luke i taket over tanken gir mulighet for tilkoblinger, inspeksjon og vedlikehold, se *fig. 9.1*. For å øke volumet kan man også tenke seg tanker som går over flere etasjer. Som nevnt tidligere vil dette kunne medføre trykkmessige fordeler som gir enklere drift.

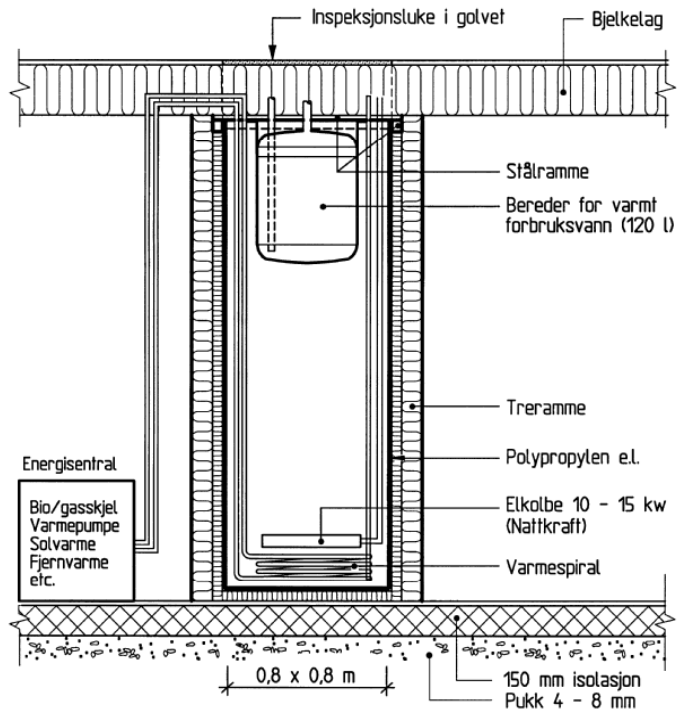


Fig. 9.1. Eksempel på trykkløst varmelager, med volum ca. 1,5 m³ i PP-plast. Varmelageret er integrert i bygningskonstruksjonen som inngår som del av tankens bæresystem.

Hvis boligen er utstyrt med sokkeletasje eller kjeller, kan det være hensiktsmessig å plassere varmelageret i underetasjen der man normalt har noe mer tilgjengelig gulvareal. Varmelageret kan da utføres med større grunnflate og mindre byggehøyde, se *fig. 9.2*. Man har da mulighet for å plassere beredertanken uten ytterligere bygningsmessige tiltak. Denne tankformen egner seg også godt ved rehabilitering av eldre boliger. For å unngå temperaturtapet i varmeveksleren, bør lavtemperatursystemer bruke neddykkert sirkulasjonspumpe eller tank som tåler overtrykk. Man kan da også bygge opp varmelageret med å bruke flere standardtanker i rustfritt stål.

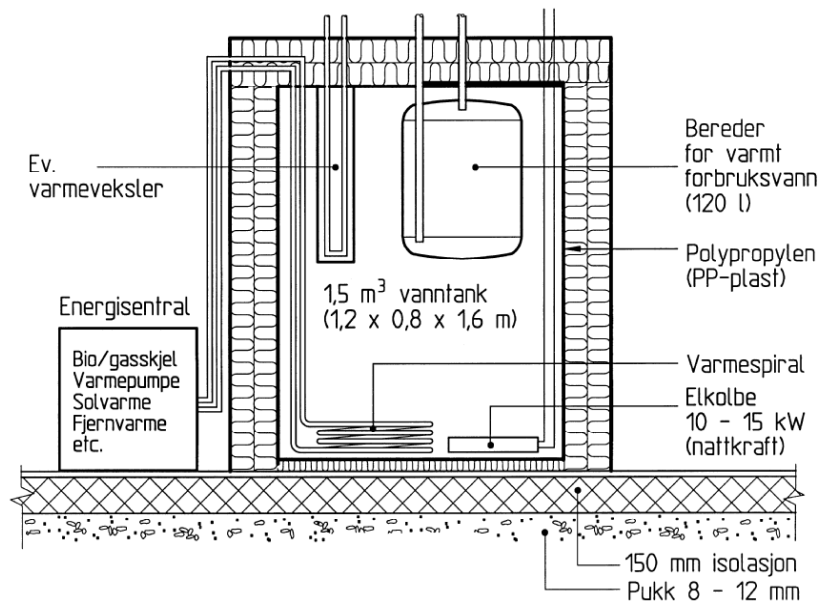


Fig. 9.2. Alternativ utforming av trykløst varmelager.

9.2 Magasin størrelse

Ved aktiv utnyttelse av solvarme når denne er tilgjengelig ved hjelp av solfangere, er det i prinsippet mulig å lagre tilnærmet all energi som kreves til boligoppvarming over året. Dette forutsetter et stort varmelager, godt varmeisoleret klimaskjerm og effektiv varmegjenvinning av ventilasjonsluft og gråvann.

I Sveits er det bygget fem såkalte 0-energihus, hver med 8 m høy tank som inneholder ca. 20 m³ vann. Tanken med isolasjon er plassert sentralt i boligene og krever 2,5 m² gulvflate. På grunn av varmetankens størrelse, vil denne til tross for 200 mm isolering virke som et lavtemperatur varmeanlegg. Ca. 45 % av varmen som lagres i tanken avgis derfor direkte fra tanken i form av et nyttbart varmetap, 30 % tilføres lavtemperatur gulvvarmeanlegg og de resterende 25 % brukes til varmt forbruksvann. I tillegg til solfangeren som er plassert på sydveggen for å kunne utnytte lav solhøyde om vinteren når varmebehovet er størst, er varmelageret koblet til en vedovn for å supplere med noe tilleggsvarme i lengere perioder uten sol.

Varmelagere som det kan være aktuelt å plassere i våre boliger vil ha et volum som bare er noen prosent av det som kreves for å oppnå tilnærmet sesonglagring. De energimengdene som kan lagres i en vanntank av rimelige dimensjoner er derfor relativt begrenset. For å sikre størst mulig lagringskapasitet bør boligen være godt isolert og ha lavt varmebehov. Da varmelagringspotensialet øker jo lavere vanntemperaturer oppvarmingssystemet kan utnytte, er det viktig at boligen er utstyrt med lavtemperatur varmeanlegg som kan utnytte vanntemperaturer på 30 °C og lavere.

Energiinnholdet (Q) i varmelageret er bestemt av vannvolumet (V) og temperaturdifferansen (Δt) mellom maksimal ladetemperatur og laveste brukstemperatur. Volumetrisk varmekapasitet for vann (C) er 4180 kJ/m³K, eller 1,16 kWh/m³K.

$$Q = C \cdot V \cdot \Delta t$$

Hvis varmeanlegget kan utnytte vanntemperaturer ned mot 30 °C, og vannet i tanken kan varmes opp til 80 °C, vil utnyttbar varmemengde være:

$$Q = 1,16 \cdot 1 \cdot 50 \approx 60 \text{ kWh/m}^3$$

En vanntank på 1 – 1,5 m³ bør derfor være tilstrekkelig til å dekke varmebehovet for en godt isolert enebolig i vel ett døgn en kald vinterdag. Hvis energikilden er nattekraft, kan man regne med en ladetid på ca. 8 timer pr. døgn. Det betyr at varmelageret skal forsyne boligen med varme og tappevann i en 16 timers periode. Hvis varmelageret har et volum på 1,5 m³ vil energiinnholdet Q være:

$$Q = 1,16 \cdot 1,5 \cdot 50 \approx 90 \text{ kWh}$$

Det betyr av varmelageret i gjennomsnitt kan forsyne boligen med en effekt til oppvarmingsformål på 5,6 kW over en 16 timers periode. Dette bør være tilstrekkelig for en godt isolert bolig også under dimensjonerende forhold. Ved bruk av lette gulvvarmeanlegg med liten tidskonstant kan varmelageret i en kortere oppvarmingsperiode tilføre gulvvarmeanlegget betydelig effekt. Man har da mulighet til å benytte både natt- og dagsenkning av temperaturen og dermed ytterligere spare energi, uten at dette går på bekostning av reduserte inneklimateforhold.

Gjennomsnittlig forbruk av varmt tappevann vil ligge på ca. 10 kWh/døgn. Noe av denne varmen kan gjenvinnes ved bruk av varmeveksler for varmt gråvann. Spesielt vil gjenvinning av varmeenergi fra dusjvann, som holder høy temperatur der man samtidig har tilførsel av kaldt vann til berederen, være effektivt om vinteren på grunn av meget lave inntakstemperaturer på vannet. Det finnes enkle, rimelige systemer som krever minimalt vedlikehold for å gjenvinne varme fra dusjanlegg, se prinsippskisse på førstesiden.

10. Temperaturregulering

10.1 Varmetregghet

Effektiv temperaturregulering i rom med hurtig skiftende varmebehov krever at varmeanlegget ikke er for varmetregt. Varmeledningsevnen (λ) uttrykker et materials evne til å lede varme, mens temperaturledningsevnen (termisk diffusivitet) (a) er et mål for hvor hurtig en temperaturendring forplantes gjennom materialet. Temperaturledningsevnen er gitt ved uttrykket:

$$a = \lambda/c \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$$c = \text{materialets volumetriske varmekapasitet (J/m}^3\text{K)}$$

Jo høyere temperaturledningsevne et materiale har, desto hurtigere forplantes temperaturendringene i materialet. Dette er en egenskap som er ønsket når det gjelder materialene som omgir varmerørene. Samtidig er det en egenskap som betinger varmetilførsel, ellers vil materialet kjennes ubehagelig kaldt ved berøring. Et eksempel er keramiske fliser på betonggulv. Det er nødvendig med temperaturer opp mot 28 °C for at dette gulvet skal føles behagelig for en person uten skotøy. Dette vil gjelde hele året. Overflaten er derfor av stor betydning for hvordan man opplever gulvvarmeanlegget. Det viser seg i praksis at hvis man har en gulvoverflate som føles kald når varmeanlegget er ute av drift eller ved små varmebehov, vil man kompensere dette ved å sette på anlegget for å øke

gulvtemperaturen, og dermed forlenge fyringssesongen. Dette er uheldig og vil føre til økt energiforbruk. Man bør derfor velge materialer til gulvbelegg som er behagelig å gå på uten oppvarming, eksempelvis tre, kork, vinyl, etc.

Lav temperaturledningsevne for materialene rundt og over varmerørene vil tilsvarende føre til varmetrege gulv. Termisk trege gulv får man både når gulvmaterialene har høy varmekapasitet, f.eks. betong, og når materialene har lav varmeledningsevne. Her vil tykkelsen på materialsjiktene være avgjørende for gulvets varmetreghet og muligheten for å utnytte lave vanntemperaturer.

Tabell 2 gir en oversikt over forskjellige materialers varmeledningsevne, varmekapasitet og temperaturledningsevne. Varmeledningsevnen for vanlige gipsplater ligger på det dobbelte av trematerialer samtidig som den volumetriske varmekapasiteten er halvert. Det fremstilles også en type gulvgipsplater med stor stivhet. Både relativt høy temperaturledningsevne og stor stivhet er egenskaper kan være fordelaktige i lette gulv med gulvvarme. Høyeste kontinuerlige temperatur i gipsplater bør ikke komme over 45 °C. Da gulvgipsplater er noe tyngre enn vanlige gipsplater, vil disse platene øke gulvets varmetreghet. Ved å sørge for at en vesentlig del av bæringen ligger under topplaget over varmerørene, kan man bruke vanlige vegg-gipsplater som gulvplater.

Tabell 2. Forskjellige materialers termiske egenskaper

Materialer	Varmeledningsevne λ (W/mK)	Volumetrisk varmekapasitet c (kJ/m ³ K)	Termisk diffusivitet a (m ² /s)
Sponplate	0,12	1400	$8,6 \cdot 10^{-8}$
Furu, gran*	0,14	1400	$10 \cdot 10^{-8}$
Fliser	1,0	2000	$50 \cdot 10^{-8}$
Betong **	1,7	2024	$84 \cdot 10^{-8}$
Gipsplate ***	0,25	600	$42 \cdot 10^{-8}$
Stål (ulegert)	54	3600	$1500 \cdot 10^{-8}$
Aluminium	225	2484	$9058 \cdot 10^{-8}$

*Varmeledningsevnen gjelder på tvers av fibrene. I fiberretningen er varmeledningsevnen 0,3 W/mK. Dette har betydning for varmefordelingen over gulvoverflaten ved bruk av gulvvarme og lamellparkett.

** Ved uttørring av betongen vil varmeledningsevnen kunne reduseres til 1,2 W/mK med tilsvarende senkning av temperaturledningsevnen.

*** Vanlige gipsplater

Tabellen viser at aluminium på grunn av høy temperatur- og varmeledningsevne er et spesielt godt egnet, selv i relativt tynne sjikt (0,5 mm), til å fordele varmen over gulvflaten.

Tabell 3 viser sammenlignbare beregninger av varmeavgivelse, maksimal overflatetemperatur, temperaturdifferanse på gulvoverflaten og gulvets varmetreghet for forskjellig gulvoppbygging. Beregningene forutsetter en konstant vanntemperatur på ca. 35 °C, og det er ikke regnet med varmeovergangsmotstand mellom materiallagene. Lufttemperaturen er 20 °C og det er regnet med noe lavere varmeavgivelse fra gulvoverflaten enn nominelle verdier angitt i fig. 3.1. På grunn av begrenset effektilgang ved bruk av lavtemperaturvarme, vil gulvvarmeanleggets reelle varmetreghet for vannrør i betong være vesentlig høyere enn

gulvkonstruksjonens karakteristiske oppvarmingstid, tidskonstant (ca. 63 % av full varmeavgivelse), som angitt i tabellen. I praksis for større gulv kan man få betydelig avkjøling av vannet i en oppvarmingsfase som vesentlig vil øke oppvarmingstiden. Dette kan imidlertid kompenseres ved å bruke en lett gulvoppbygging og øke vannhastigheten i varmerørene. Utførte målinger viser at det for lette gulvkonstruksjoner er relativt god overensstemmelse mellom beregnede og målte verdier.

Tabell 3. Sammenlignbare varmetekniske forhold for forskjellig gulvoppbygging. Tidskonstanten (ca. 63 % av full varmeavgivelse) er beregnet under oppvarming med konstant vanntemperatur ca. 35 °C. Lufttemperaturen er 20 °C.

Gulvoppbygging	Rør-avstand med mer	Δt (°C) Temp.diff. overfl.	Maks. overflate-temp (°C)	Tids-konstant (min.)	Varme-avgivelse W/m ²
50 mm betong, 15 mm parkett	200	0,8	25,8	74	42,7
” ”	300	1,8	25,7	143	37,1
13 mm gips, 8 mm parkett, 0,5 mm Al	200	0,7	26,0	16,5	46,5
” ” 1,0 mm Al	200	0,4	26,0	15	48,8
” ” 0,5 mm Al	300	1,6	25,9	26	40,8
” ” 1,0 mm Al	300	1,0	26,0	17,5	45,2
13 mm gips, 15 mm parkett, 0,5 mm Al	200	0,5	25,1	33	38,3
2 x 13 mm gulv/veggips, 0,5 mm Al	200	0,7	26,3	17,5	46,9
15 mm parkett, 0,5 mm Al	200	0,8	26,3	20	46,5
9 mm parkett, 0,5 mm Al	200	1,2	27,6	11	55,0

10.2 Røravstand

Av tabell 3 fremgår det at røravstanden er en viktig parameter som påvirker gulvets termiske treghet, varmfordeling og dermed også gulvets varmeavgivelse. God varmfordeling, og dermed jevn overflatetemperatur, er en nødvendig forutsetning for å sikre god varmeavgivelse. Man kan til en viss grad kompensere for en økt røravstand ved å øke tykkelsen på Al-platen. På grunn av aluminiumens høye varmeledningsevne oppnår man imidlertid relativt lite ved å øke tykkelsen på Al-platen. Økt røravstand og tykkelse på Al-platene vil kunne gå på bekostning av større varmetreghet og kostnader da aluminiumsplater er relativt kostbare. Det fremgår av tabell 2 at kombinasjonen røravstand 200 mm og 0,5 mm tykk Al-plate i de fleste tilfeller vil gi tilfredsstillende varmfordeling.

10.3 Energieffektivitet og temperaturstyring

Ved tradisjonelle varmebehovsberegninger av bygninger forutsettes normalt konstant innelufttemperatur. Det betyr at varmeanleggene til enhver tid må sørge for å opprettholde nøyaktig varmebalanse. Tradisjonelle, termostatstyrte, elektriske varmeovner med liten varmetreghet er med god tilnærming i stand til å tilfredsstillende denne funksjonen. Imidlertid vil disse varmeanleggene ha noe høyere varmetap (1-2 %) da de som oftest plasseres på klimaskjermen, og da spesielt under vinduer. Elektrisk oppvarming med panelovner er likevel en meget energieffektiv oppvarmingsmetode. På grunn av stor andel elektrisk oppvarming med høy virkningsgrad, har Norges samlede energiforbruk til oppvarming tradisjonelt ligget noe under våre naboland. Problemet i Norge er knyttet til det høye forbruket av høykvalitetsenergi (elektrisitet) til oppvarmingsformål. Det bør imidlertid være mulig å opprettholde høy energieffektivitet og samtidig redusere vårt forbruk av elektrisitet til oppvarmingsformål.

Ved innføring av vannbåren varme vil en hovedutfordring være å sikre minst like god samlet energieffektivitet for kjøpt energi som ved direkte elektrisk oppvarming. God temperaturregulering er i denne sammenhengen en nøkkelfaktor som det har vært problematisk å oppnå for lavtemperatur varmeanlegg med lav effektdynamikk. I tillegg har tradisjonelt oppbygde gulvvarmeanlegg stor varmetreghet. Bruk av romtermostater er i dag relativt vanlig ved individuell temperaturkontroll av gulvvarmeanlegg. Dette gjelder uavhengig av gulvoppbyggingen. Det sier seg selv at denne temperaturreguleringen for gulvvarmeanlegg med betydelig varmetreghet, tidkonstant 5-10 timer eller mer, ikke kan bli særlig vellykket. Resultatet er gjerne temperatursvingninger ute av fase med behovet og resulterende utilfredsstillende inn klima og stort energiforbruk. Dette bekreftes av målinger utført i Danmark som viser et medforbruk på hele 40 % i nye godt isolerte hus med gulvvarme. Det er da brukt en kombinasjon av varmerør innstøpt i betong og romluftstermostater. Valg av styringssystemer for temperaturreguleringen har derfor direkte sammenheng med gulvoppbyggingen. Ved bruk av lave vanntemperaturer kan det ofte være hensiktsmessig med en form for mengderegulering.

10.3.1 Tradisjonelle, varmetrege gulvvarmeanlegg

Tradisjonelle varmetrege gulvvarmeanlegg krever spesiell temperaturstyring som er i stand til i en viss grad å forutse fremtidige endringer i varmebehovet. Slike anlegg egner seg best i rom med relativt konstante eller beskjedne varmebehov. Hvis huset og gulvvarmekonstruksjonen har tilnærmet samme tidsforsinkelse for temperaturendringer (tidskonstant), finnes det i dag enkle reguleringsystemer som gir tilfredsstillende temperaturkontroll. Dette forutsetter imidlertid at utelufttemperaturen er en vesentlig parameter for fastleggelse av nødvendig varmetilførsel fra varmeanlegget. Systemet baseres på start og stopp av sirkulasjonspumpen, og er derfor mindre egnet for individuell temperaturregulering. Ved beskjedent varmebehov og lave vanntemperaturer vil gulvvarmeanlegget kunne være tilnærmet selvregulerende.

10.3.2 Lett gulvvarmeanlegg med lav varmekapasitet og liten tidskonstant

Et lett gulvvarmeanlegg med lav varmekapasitet og liten tidskonstant (10 - 15 min.) kan reguleres ved bruk av romtermostater som for elektriske panelovner. Utførelsen egner seg for individuell temperaturregulering i rom med relativt hurtig skiftende varmebehov. For lavtemperatur varmeanlegg kan det være aktuelt å bruke en konstant turtemperatur på vannet ut i gulvet. Dette oppnås for eksempel ved å bruke en termostatstyrt shuntventil der man blander varmt vann med avkjølt returvann fra varmeanlegget.

Det er gjerne ønsket om høy temperatur på badegulvet som er dimensjonerende for vanntemperaturen. For badegulv utført i betong med fliser, vil en vanntemperatur på ca. 30 °C være tilstrekkelig. Samtidig vil man også i sommerhalvåret ofte ha behov for noe varme på badet evt. vaskerom. Temperaturreguleringen blir i dette tilfellet en ren mengderegulering. Hvis anlegget er tilfredsstillende innregulert, vil man i prinsippet i nye hus med relativt åpen planløsning kunne styre anlegget ved en eller to temperaturfølere. Sirkulasjonspumpen vil normalt arbeide kontinuerlig i dette systemet. Det er imidlertid vanlig at sirkulasjonspumper i dag enten er utstyrt med trykkstyrt turtallsregulering eller har tre faste turtall med manuell omkobling. Man kan også tenke seg en mulighet for en enkel start/stopp regulering av sirkulasjonspumpen. Man bør da manuelt kunne koble ut de delene av varmeanlegget som ikke skal kjøres i sommerhalvåret. Det vil alltid være et kostnadsspørsmål hvor mye automatikk det kan være hensiktsmessig å legge inn i anlegget.

11. Leggemønster

Valg av leggemønster kan være avgjørende for å oppnå god varmfordeling i rommet. Leggemønstret er særlig viktig for rom med store varmebehov der man gjerne har store varmetap i randsonen mot yttervegger [3]. For lavtemperaturanlegg der man samtidig har beskjedne varmebehov, vil valg av leggemønster ha mindre betydning for å sikre god varmfordeling. Et spiralmønster der tur og returledningen legges ved siden av hverandre vil gi tilfredsstillende varmfordeling og enkel rørlegging, se *fig. 11.1*. Da varmerørene er relativt stive er det en fordel at rørene kan legges med relativ stor krumningsradius. Man kan bruke samme røravstand 200 mm over hele gulvet eller øke røravstanden noe inn mot senter av rommet som har minst varmebehov. Turvannet bør først tilføres randsonen mot yttervegger.

Hvis deler av gulvet er dekket med tepper, møbler e.l. kan varmeavgivelsen fra gulvet i de tildekkede områdene bli noe redusert. Det betyr mindre avkjøling av vannet i rørene i disse områdene. Man vil samtidig få høyere vanntemperatur i returledningen i de deler av gulvet som ikke er dekket. Høyere temperatur i returledningen vil kunne kompensere noe for redusert varmeavgivelse i tildekket område. For rom med beskjedne varmebehov og tilsvarende lave overflatetemperaturer vil det være mindre kritisk hvis deler av heteflaten tildekkes. Det er da bare snakk om mindre justering av turtemperaturen eller vannmengden uten at man risikerer lokalt for høye gulvtemperaturer.

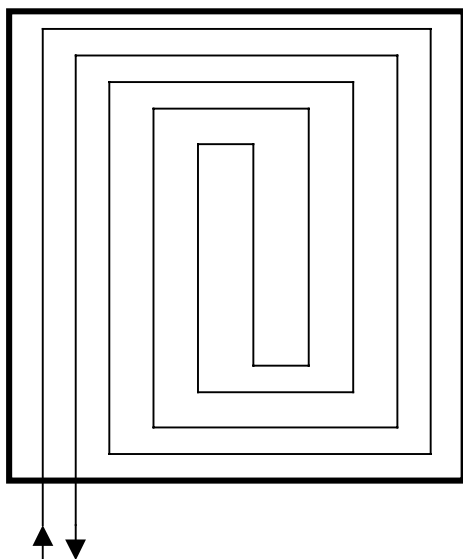


Fig. 11.1. Spiralmønster der tur- og returrøret legges ved siden av hverandre gir tilfredsstillende temperaturfordeling i lavtemperaturanlegg da turvannet først tilføres sonen med størst varmetap. Rørleggingen forenkles da rørene vesentlig legges med stor krumningsradius. Leggemønstret egner seg mindre for prefabrikking.

Bruk av lave vanntemperaturer er en vesentlig forutsetning for å unngå problemer med overtemperaturer ved direkte solinnfall eller annen stor varierende varmelast. Bruk av ekstremt lave vanntemperaturer gir generelt lav effektdynamikk. Samtidig må gulvvarmeanlegget dimensjoneres med relativt beskjeden temperatursenkning over gulvflaten. Dette forutsetter lavt varmebehov eller stor gjennomstrømning. Det er ikke lenger akseptabelt med en senkning av vanntemperaturen på 5 °C over gulvflaten, et vanlig brukt dimensjonskriterium for gulvvarmeanlegg. Temperatursenkningen bør fortrinnsvis ligge i

området 1 – 2 °C. Ved redusert temperaturredifferanse vil både dimensjoneringen og rørføringen bli vesentlig enklere. Man blir ikke så avhengig av bestemte rørmønstre for å sikre best mulig varmefordeling. Dette forenkler prefabrikking av sporplater i isolasjon eller trefiberplater for varmerørene. *Figur 11.2* viser eksempel på rørmønstre som er godt egnet for prefabrikking. Rørmønstret sikrer samtidig god temperaturutjevning ved at tur- og returrøret legges ved siden av hverandre.

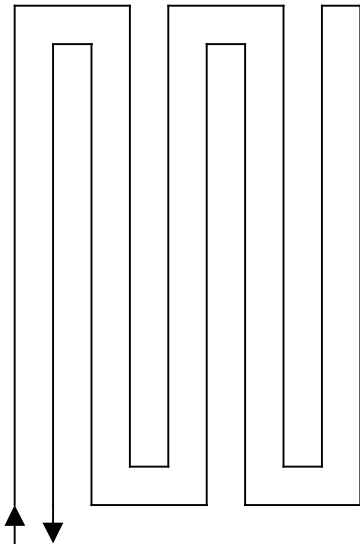


Fig. 11.2. Rørmønstre som er godt egnet for prefabrikking for lavtemperatur varmeanlegg med små temperaturredifferanser. Tur- og returledningen legges ved siden av hverandre.

Jo lavere varmebehov og tilhørende vanntemperatur man kan bruke, jo mer selvregulerende og dermed energieffektivt blir anlegget. Dette gjelder uavhengig av utførelsen. Lave vanntemperaturer gir også mindre problemer med overtemperaturer. Overtemperatur på grunn av direkte solinnstråling må løses på annen måte (solavskjerming), og har derfor ingen innflytelse på varmeanleggets energieffektivitet. Imidlertid er det særlig perioder vår og høst at passiv solvarme spiller en vesentlig rolle for energibalansen og dermed energibehovet. Det er derfor viktig at varmeanlegget er utført slik at denne solvarmen kan utnyttes.

Individuell temperaturregulering i rom med hurtig varierende varmebehov tilsier at man bør tilstrebe lette gulvvarmeløsninger med liten tidskonstant for oppvarming. Det betyr samtidig gulv med god varmeoverføring fra varmerørene til gulvoverflaten som kan utnytte meget lave vanntemperaturer. Forholdene ligger da til rette for en effektiv temperaturregulering på linje med elektriske panelovner.

Da vannbårne varmeanlegg alltid vil ha et tomgangstap kan det være en fordel at anlegget ikke settes i drift før det er et reelt varmebehov. Dette vil imidlertid være direkte avhengig av energikilden. Solvarme vil være mest effektivt i sommerhalvåret. Tomgangstapet består av varmetap fra ventiler, tilførselsrør, pumper, tanker, etc. Det er derfor viktig å sørge for god isolasjon og samtidig plassere sekundære komponenter i varmeanlegget i rom der man til en viss grad kan utnytte dette varmetapet.

12. Eksempel på lavtemperatur gulvvarmeanlegg

12.1 Varmerør i betong

Gulvvarme benyttes ofte i baderom av komforthensyn der man gjerne ønsker mer permanent oppvarming med høye overflatetemperaturer (30 - 32°C). Tradisjonelt bygges gulvvarmeanlegg opp ved å støpe vannrør inn i et 50 – 100 mm tykt betongdekke med keramiske fliser eller PVC-gulvbelegg. En slik utførelse gjør det mulig å utnytte relativt lave vanntemperaturer (30 - 40 °C). Denne oppbyggingen gir et varmetregt varmeanlegg. Samtidig føles overflaten kald på grunn av høy temperaturlledningsevne. Gulv på grunnen med varmetap over hele året krever ofte varmetilførsel også i sommerhalvåret for å opprettholde tilfredsstillende komfort. Selv om utførelsen gjør det mulig å utnytte lave vanntemperaturer, er slike gulvvarmeanlegg neppe særlig energiøkonomiske i rom med hurtig varierende varmebehov. Man får problemer med temperaturreguleringen. Denne utførelsen egner seg best i baderom med ønske om permanent høy gulvtemperatur.

Man skal i denne forbindelsen være oppmerksom på at uttørring av betongen over tid kan redusere varmeledningsevnen fra 1,7 til 1,2 W/mK. Avhengig av røravstanden kan dette gi ujevne overflatetemperaturer, redusert varmeavgivelse og dermed krav om høyere vanntemperaturer. Dette er forhold man bør ta høyde for under planleggingen og ikke bruke for stor avstand mellom varmerørene.

Hvis man bruker parkett e.l. som gulvbelegg over betongen vil lave vanntemperaturer ikke kunne dekke normale varmebehov. Samtidig øker varmetregheten til gulvet, se *fig. 12.1*.

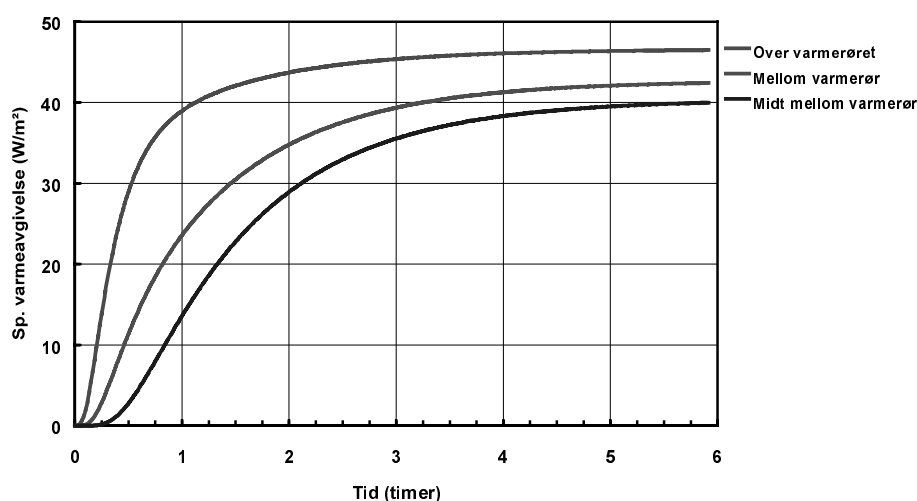
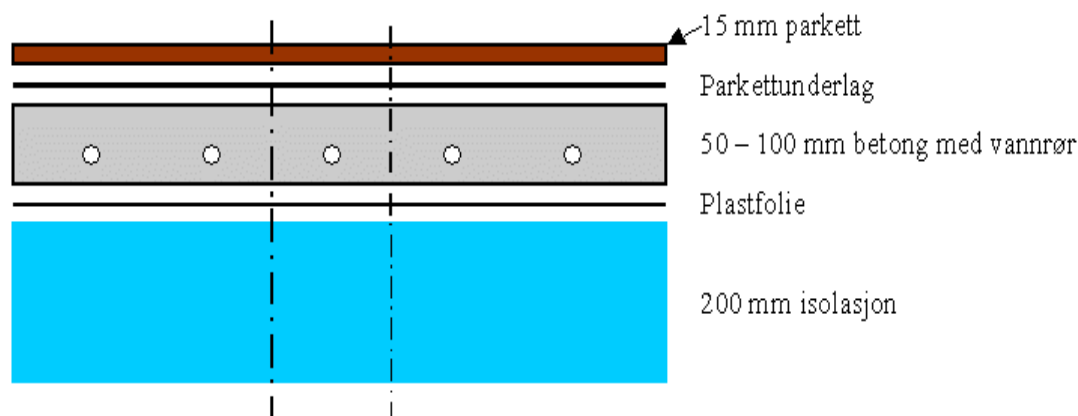


Fig. 12.1. Beregning av oppvarmingsforløp for betonggulv på grunnen med innstøpte varmerør. Det er angitt spesifikk varmeavgivelse fra et punkt på parkettoverflaten direkte over og mellom varmerørene. Det er forutsatt konstant vanntemperatur på ca. 35 °C og lufttemperatur 20 °C. Starttemperaturen på betonggulvet er 20 °C. Betongtykkelsen er 50 mm og røravstanden 200 mm. På grunn av betongens relativt begrensede varmeledningsevne og store varmekapasitet, tar det relativt lang tid å fordele varmen over gulyflaten. Forhold som forverres betydelig ved uttørring av betongen. Det er derfor viktig ikke å ha for stor avstand mellom varmerørene. Ved økning av betongtykkelsen får man en vesentlig økning i gulvets varmetreghet. Det kan da gå døgn før man får opp golvtemperaturen hvis anlegget har vært avslått.

Flytende betonggulv med varmerør over trinnlydisisolasjon i mellombjelkelag, har samme oppvarmingskarakteristikk som vist i fig. 12.1.

Hvis man har et varmetrege varmeanlegg, er det viktig for anleggets energieffektivitet at varmebehovet er beskjedent eller at varmebehovet er relativt konstant som i badrom. Varmetrege gulvvarmeanlegg med lave overflatetemperaturer i bygninger med meget beskjedent effektbehov vil i prinsippet kunne være selvregulerende. Dette forutsetter maksimale temperaturer på gulvoverflaten i størrelsesorden 22 - 23°C og tilsvarende lave vanntemperaturer. Forhold som normalt ikke er til stede i dagens anlegg.

12.2 Lette gulvkonstruksjoner med gulvvarme

Lette gulvkonstruksjoner (uten betong) med gulvvarme kan være flytende eller bærende. Bærende gulv med gulvvarme består gjerne av gulvbjelker med varmerørene festet under bærende plater som for eksempel kan være 22 mm sponplater. Varmerørene legges da normalt i varmfordelingsplater i aluminium, såkalte Ω -plater. Disse gulvvarmeanleggene krever ofte, på grunn av stor varmemotstand i det bærende laget over vannrørene, vanntemperaturer godt over 50 °C. Denne gulvoppbyggingen kan derfor vanskelig kombineres med bruk av lavkvalitets energikilder.

12.2.1 Temperaturtap i overbygningen

Tabell 4 viser varmestrømsmotstand og temperaturtap for forskjellige overbygninger over den varmfordelende Al-platen. Det er forutsatt en gjennomsnittlig varmeavgivelse fra gulvoverflaten på 34 og 60 W/m². Skal man derfor kunne bruke lave vanntemperaturer må varmebehovet og varmestrømsmotstanden være så lav som praktisk mulig uten at det går utover gulvets mekaniske egenskaper. Alle temperaturdifferanser i varmeanlegget vil være tilnærmet proporsjonal med varmeavgivelsen. Bruk av en mer bærende overbygning over varmerørene som 22 mm sponplate eller 22 mm parkett, krever høye vanntemperaturer og vil samtidig gi vesentlig mer varmetrege gulv. Tykke bærende plater over varmerørene er derfor normalt ikke forenlig med de kriterier som må legges til grunn for lavtemperatur varmeanlegg. Ønsker man allikevel bruke lavtemperatur gulvvarme i tilknytning til en slik bærende gulvoppbyggingen bør gulvvarmeanlegget tjene som en komfortvarme som suppleres med annen varmekilde.

Tabell 4. Varmestrømsmotstand og temperaturtap i vertikal retning for forskjellige overbygninger over Al-platen. Varmeavgivelsen fra gulvet er 34 og 60 W/m².

Konstruksjon	Varmestrømsmotstand m ² K/W	Temperaturtap °C (34/60 W/m ²)
To 13 mm gipsplater og gulvbelegg	0,104	3,5/6,2
To 13 mm gipsplater og 9 mm parkett	0,179	6,1/10,7
13 mm gipsplate og 9 mm parkett	0,127	4,3/7,6
15 mm parkett	0,125	4,3/7,5
9 mm parkett	0,075	2,6/4,5
22 mm Sponplate eller 22 mm parkett	0,183	6,2/11,0
22 mm sponplate og 15 mm parkett	0,308	10,5/18,5

For å kunne utnytte lavest mulige vanntemperaturer, er det nødvendig at mer av bæringen legges under varmerørene. Det betyr i praksis flytende gulvkonstruksjoner. Utviklingen i dag går mer i retning av å bruke slike konstruksjoner. Dette gjelder både for gulv på grunnen og i mellombjelkelag. Flytende gulv er behagelig å gå på fordi de svikter litt som medfører god støtdemping ved støtlaster og gir mindre belastning på beina. For gulv på grunnen er det også en fordel å unngå å bruke betong som krever lang uttørringstid. *Figur 12.2* viser eksempel på lett gulvkonstruksjon med gulvvarme. Som alternativ til parkett kan man bruke to gipsplater som limes sammen og gulvbelegg.

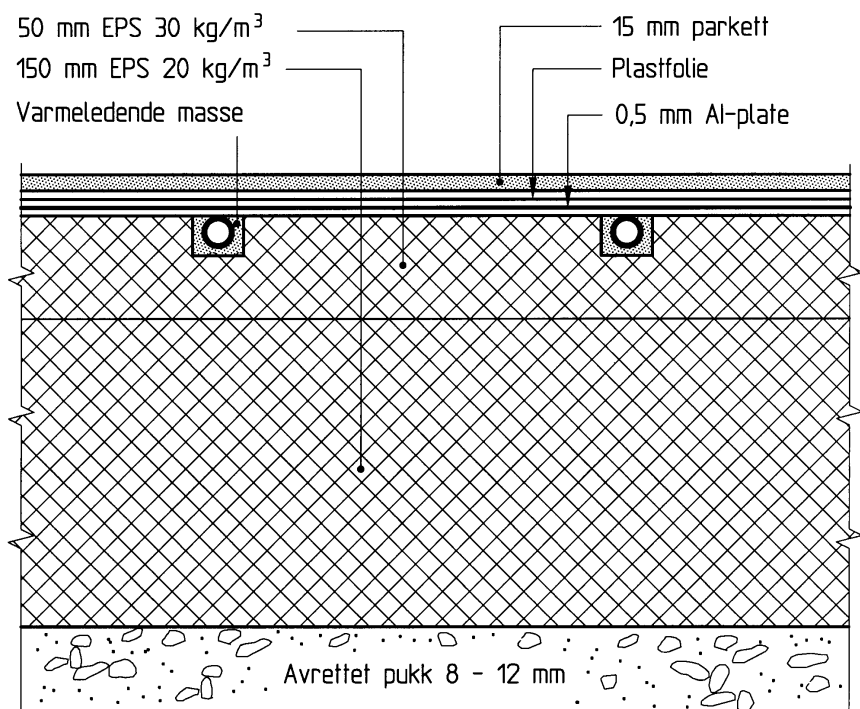


Fig. 12.2. Gulv på grunnen med gulvvarme. Varmerørene er lagt i spor i isolasjonen med godt ledende masse rundt varmerørene. Alternativt kan det brukes Al-plater med klips eller å forme Al-platen rundt røret (Ω -plater). På grunn av varmerørenes varmeisolerende egenskaper er god ledende kontakt mellom hele røroverflaten og aluminiumsplatene viktig for god varmeoverføring.

12.2.2 Varmerør og temperaturfordeling

Aluminiumsplatene skal fordele varmen over gulvflaten. Aluminium har varmeledningsevne på hele 225 W/mK. God varmfordeling over gulvflaten er en nødvendig forutsetning for god varmeavgivelse og dermed muligheten for å senke vanntemperaturen. Da det er vanlig å bruke plast vannrør (PEX) med relativt lav varmeledningsevne (0,36 W/mK), er det viktig å bruke rør med størst mulig overflate og sikre god ledende kontakt mellom hele røroverflaten og Al-platen. Dette kan for eksempel oppnås ved å legge varmeledende masse rundt rørene, bruke forskjellige typer Al-profiler eller spesiell utforming av Al-platene (Ω -plater) for å sikre god kontakt mellom rør og plate.

Utvendig diameter for varmerør i plast ligger i området 12 - 20 mm med tyngdepunktet rundt 16 - 17 mm. Godstykkelsen er normalt 2,0 mm. Dårlig varmeoverføring fra varmerørene til varmfordelingssjiktet representerer en flaskehals når det gjelder muligheten av å utnytte lave vanntemperaturer. På grunn av rørmaterialets lave varmeledningsevne er det av stor betydning for varmeavgivelsen at man utnytter hele rørets overflate som aktiv heteflate. Temperaturtapet over rørveggen kan bare reduseres ved å bruke rørmaterialer med høyere varmeledningsevne. Da PEX-rør er relativt prisgunstige, har lang levetid og kan leveres på kveiler i lange lengder, vil det være vanskelig å erstatte disse med andre rørtypene. PEX-rør er relativt stive ved vanlig romtemperaturer og krever forankring under leggesprosessen. Dette favoriserer bruk av små rørdiameterer og rørmønster med stor krumningsradius. I lette gulvkonstruksjoner med begrensede muligheter for forankring, vil maksimal utvendige rørdimensjon for PEX-rør ligge mellom 17 - 20 mm. Rørleggingen forenkles betydelig hvis man varmer opp rørene under leggesprosessen.

Som alternativ til PEX-rør finnes plastrør med Al-kjerne. Disse rørene er plastiske og har noe bedre egenskaper når det gjelder varmfordeling i tangensial retning. Dette har betydning når det legges en overliggende Al-plate som berører rørene, se *fig. 12.3*. Rørene er i tillegg absolutt diffusjonstette. Kravet til absolutt diffusjonstetthet for oksygen er mindre aktuelt i rene gulvvarmeanlegg. Disse anleggene kan med beskjedne tillegg bygges helt i ikke-korrosive materialer.

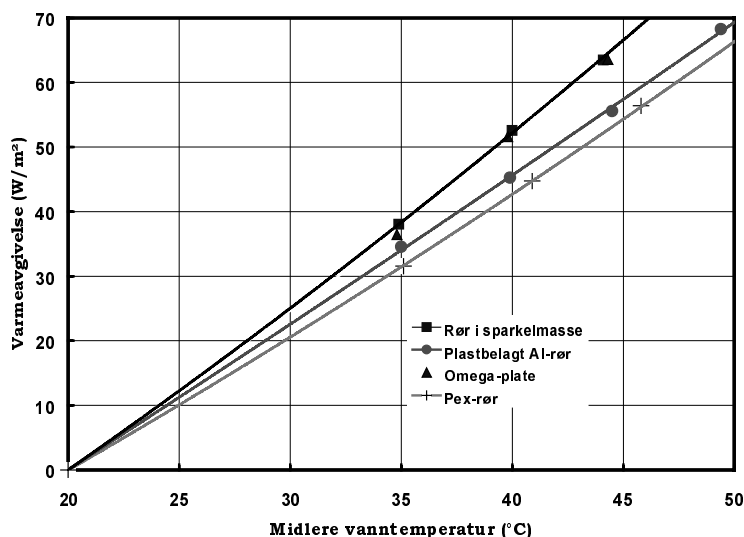


Fig. 12.3. Eksempel på varmeavgivelse fra gulv med overbygning 2x13 mm gipsplater over varmerørene. Det er lagt heldekkende Al-plater over PEX- og plastbelagte Al-rør. Det er også brukt sparkelmasse og Ω -plater sammen med PEX-rør. Røravstanden er 200 mm og romtemperaturen ca. 20 °C.

Temperaturtapet over rørveggen må regnes som en systemkonstant. For å unngå at temperaturtapet øker ytterligere, er det viktig å sikre god ledende kontakt mellom røroverflaten og den varmfordelende Al-platen. God varmeoverføring fra plastrøret til Al-platen er derfor avhengig av at hele røroverflaten har direkte kontakt med relativt godt ledende materiale, se *fig. 12.4* og *12.5*. Det fremgår av *fig. 12.4* at for å oppnå tilfredsstillende varmeavgivelse fra varmerørene bør man sikre god ledende kontakt mellom varmerør og overliggende varmfordelingsplate. *Figur 12.5* viser at heldekkende Al-plater gir best varmfordeling over gulvoverflaten. Det skyldes at Ω -platene opptar noe bedre varme fra varmerørene enn sparkelmassen og Al-platen, men i dette tilfellet bare dekker Ω -platen ca. 70 % av gulvoverflaten. Det er derfor viktig at største delen av gulvoverflaten er dekket med Al-plater, også over rørbøyene der man ikke kan bruke Ω -plater. Man bør også bruke en sparkelmasse med høyest mulig varmeledningsevne.

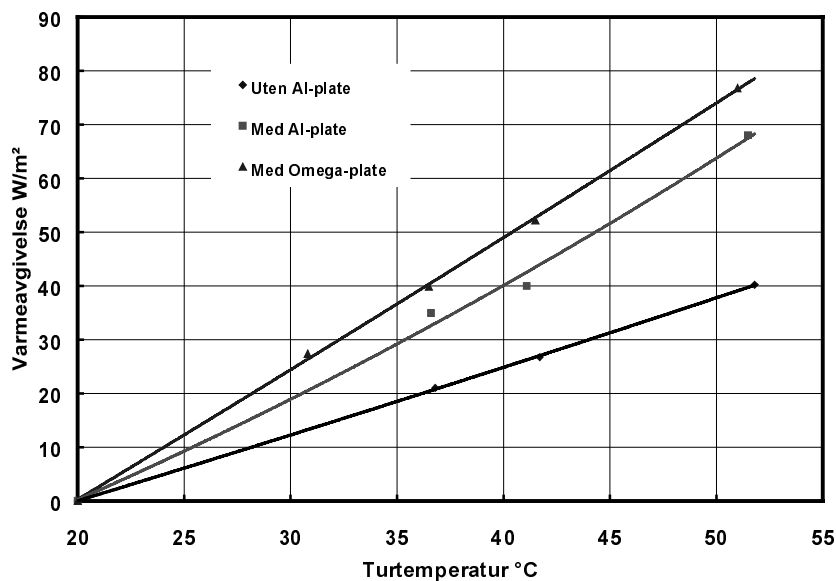


Fig. 12.4. Eksempel på varmeavgivelse fra gulv med overbygning 9 mm parkett og 13 mm gipsplate der 17 mm PEX varmerør ligger i spor i isolasjonsplaten. Varmeavgivelsen er målt med og uten heldekkende 0,5 mm Al-plate og Ω -plate. Bruk av Ω -plate eller relativt godt varmeledende flytesparkel rundt røret og heldekkende Al-plate gir tilnærmet samme varmeavgivelse. Røravstanden er 200 mm og romtemperaturen ca. 20 °C.

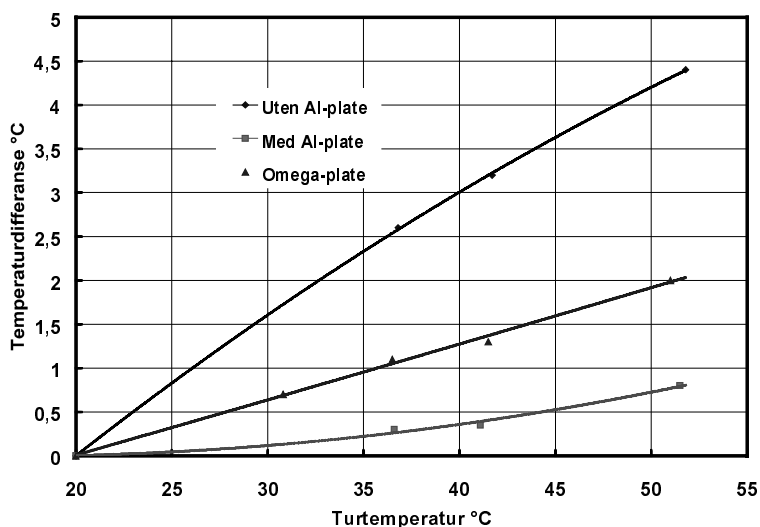


Fig. 12.5. Maksimal temperaturdifferanse på gulvoverflaten rett over og mellom varmerør. Det er brukt samme gulvoppbygging som i fig. 12.4.

Som omfyllingsmasser rundt røret kan man for eksempel bruke en blanding av kvartssand og gips eller kvartssand og sement. Man kan også bruke vanlig mur- og pussmørtel. Det er en fordel å bruke sand med høyt innhold av kvarts som har varmeledningsevne på hele 7-10 W/mK. Man kan imidlertid også bruke forskjellige typer flytesparkler. Skjøtene i underlagsisolasjonen eller -platene må tettes før man tilfører flytesparkelen. Det er viktig å dekke hele røroverflaten for å utnytte hele rørets aktive heteflate. Da forskjellige omfyllingsmassene kan være korrosive overfor aluminium, bør det legges en plastfolie over rør og omfyllingsmasser før legging av Al-platene. Man kan også bruke malte Al-plater. Da det ofte er relativt beskjedne mengder sparkelmasser som kreves, vil uttørring av denne

massen skje relativt hurtig. En mindre anløpning av Al-platen der denne kommer i kontakt med sparkelmassen er uten betydning for varmefordelingen.

Et alternativ til heldekkende Al-plater og sparkelmasse er å legge varmerørene i aluminiumsplater eller aluminiumsprofiler som er formet som en U eller Ω . Mellom 50 - 75 % av røroverflaten får da kontakt med Al-platen. Platene kan bare brukes på rettstrekk og vil gi en effektiv fiksering av varmerørene. Ω -platene og bør helst limes til underlaget for å unngå støy og for stor initialdeformasjon av det lette topplaget. Man kan også kombinere bruk av Ω -plater og sparkelmasse. Ω -platene brukes på rettstrekk til å fikserte varmerørene og sparkelmassen i rørbøyene. Over Al-platene er det vanlig å legge ullpapp som glideskikt for flytende topplag som kan være parkett e.l.

På grunn av den lette utførelsen er det viktig at underlaget er så plant som mulig for å sikre god varmeledende kontakt mellom Al-platen og topplaget (parkett e.l). Hele gulvoverflaten bør dekkes med Al-plater med minst mulig spalter mellom platene. Dette er viktig for å få en best mulig varmefordeling, men også for å få et jevnest mulig sjikt før man legger topplaget. Bæringen besørgeres av lagene under Al-platen og varmerørene. 9 -15 mm parkett lagt flytende som topplag, gir for eksempel tilfredsstillende stivhet og lastfordeling når 30 kg/m³ EPS-isolasjon eller porøse fiberplater brukes som underlag. Det er også mulig å forsterke underlaget og dermed ytterligere redusere tykkelsen og varmemotstanden for topplaget eller tillate større laster.

Da varmerørene fordeles fra varmesentralen til de enkelte rom, vil man i enkelte soner få en konsentrasjon av varmerør. For å forhindre en ukontrollert varmetilførsel i disse sonene, bør man unngå å bruke varmeledende masse eller Ω -plater rundt rørene her. Ved samtidig å senke rørene dypere i isolasjonsplaten vil varmeavgivelsen fra rørene bli meget beskjedent. Samtidig er det viktig å sikre at gulvets stivhet opprettholdes i disse områdene.

12.2.3 Beregnet oppvarmingsforløp

Figur 12.6 viser beregning av spesifikk varmeavgivelse og temperaturfordeling over gulvoverflaten under oppvarming for gulvkonstruksjonen vist i fig. 12.2. Det er forutsatt konstant vanntemperatur ca. 35 °C, lufttemperatur 20 °C og 200 mm senteravstand mellom varmerørene. Forskjellen i overflatetemperaturen umiddelbart over og midt mellom varmerørene ligger i dette tilfellet under 1,0 °C. Beregningen forutsetter ideell kontakt mellom de ulike lagene, og mellom rør, sparkelmasse og Al-plate. Aluminiumsplaten sørger for god temperaturfordeling over gulvflaten. Dødtiden fra effektpådrag til man registrerer temperaturøkning på gulvoverflaten er ca. 5 min. Dette er bekreftet med målinger.

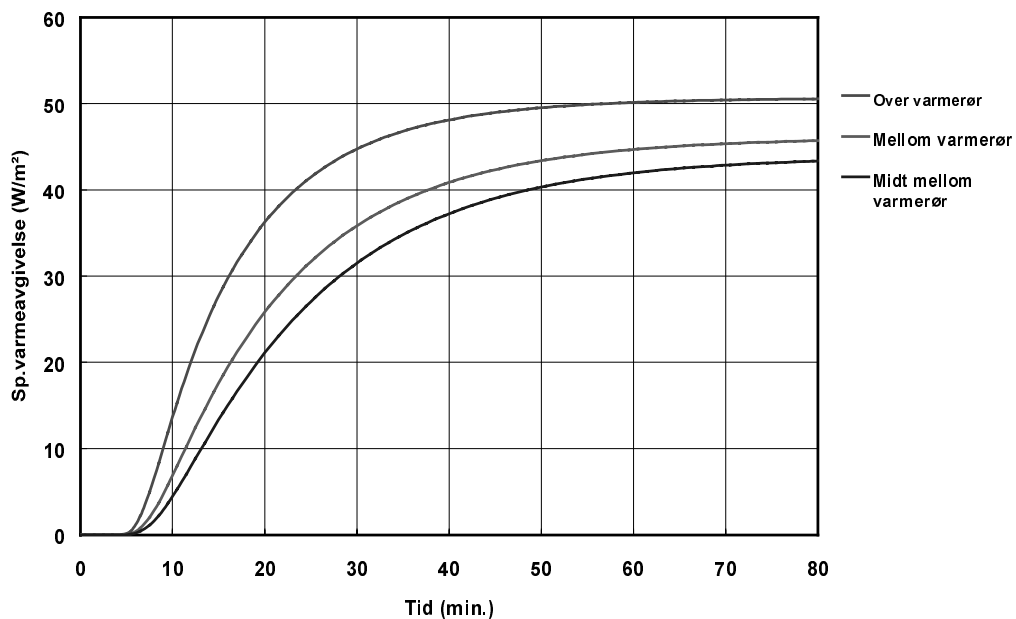


Fig. 12.6. Beregning av spesifikk varmeavgivelse og varmfordeling over gulvoverflaten under oppvarming for gulvkonstruksjonen fig. 12.2 med 15 mm parkett som topplag. Røravstanden er 200 mm, vanntemperaturen ca. 35 °C og lufttemperaturen 20 °C.

For å kunne bruke lavest mulig vanntemperatur og samtidig oppnå liten varmetreghet, er det en fordel at overbygningen over vannrørene er så tynn som mulig. Nødvendige lag for å sikre gulvet tilstrekkelig stivhet bør fortrinnsvis legges under varmerørene, se fig. 12.7.

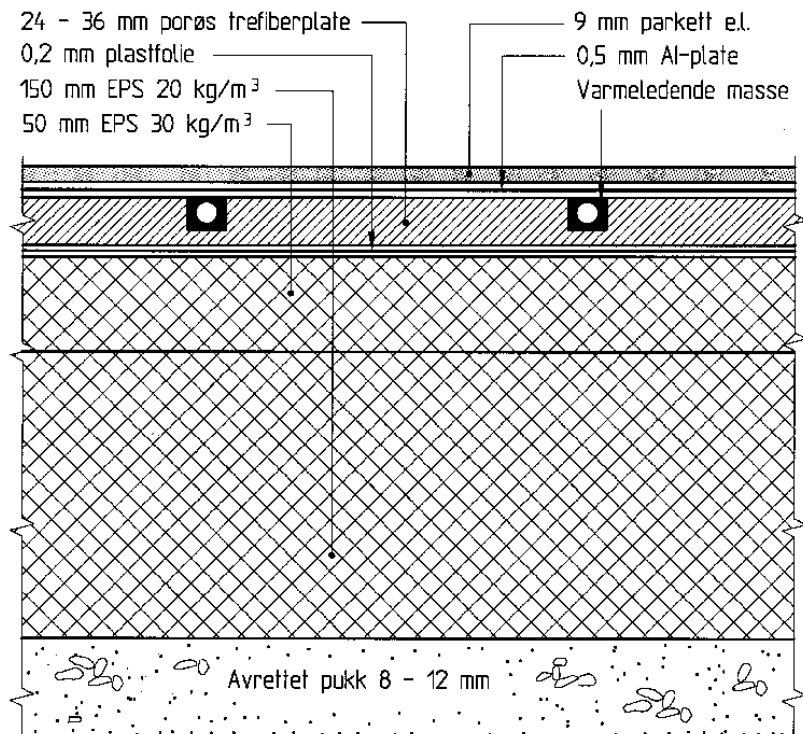


Fig. 12.7. Ved å legge varmerørene i porøse fiberplater med not og fjær vil gulvets bærelag ligge under varmerørene. For optimal varmeavgivelse og planhet er det viktig at Al-platene dekker hele gulvflaten. Som overbygning kan f.eks. brukes 9 -15 mm flytende parkett.



Fig. 12.8. Flytende gulvkonstruksjon med gulvvarme. Varmerør lagt i prefabrikkerte fiberplater med spor. I stedet for varmeledende masse rundt varmerørene og heldekkende Al-plate, er det brukt Ω -plater i aluminium. Som overbygning kan brukes 9 -15 mm flytende parkett. Under parketten legges ullpapp som et glidesjikt.

13. Gulvvarme i lett mellombjelkelag med lydisolering

I mellombjelkelag vil ny byggeforskrift kreve flytende gulv for å sikre tilfredsstillende trinnlydisolasjon. Dette gjelder både for trebjelkelag og betongdekker. Fig 13.1 viser eksempel på gulvvarmeanlegg i mellombjelkelag. Konstruksjonen tilfredsstiller nye krav til trinn- og luftlydisolasjon. Man kan ytterligere kombinere trinn- og luftlydisolasjon i bjelkelag med gulv- og takvarme, se fig. 13.2.

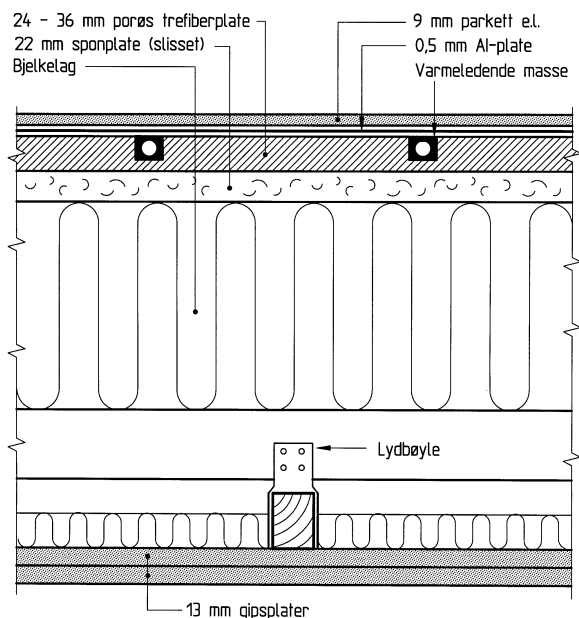


Fig. 13.1. Eksempel på gulvvarmeanlegg i mellombjelkelag. Konstruksjonen tilfredsstiller nye krav til trinn- og luftlydisolasjon. Gulvoppbyggingen med gulvvarme vil også kunne brukes i betongdekker for å tilfredsstille trinnlydskravet.

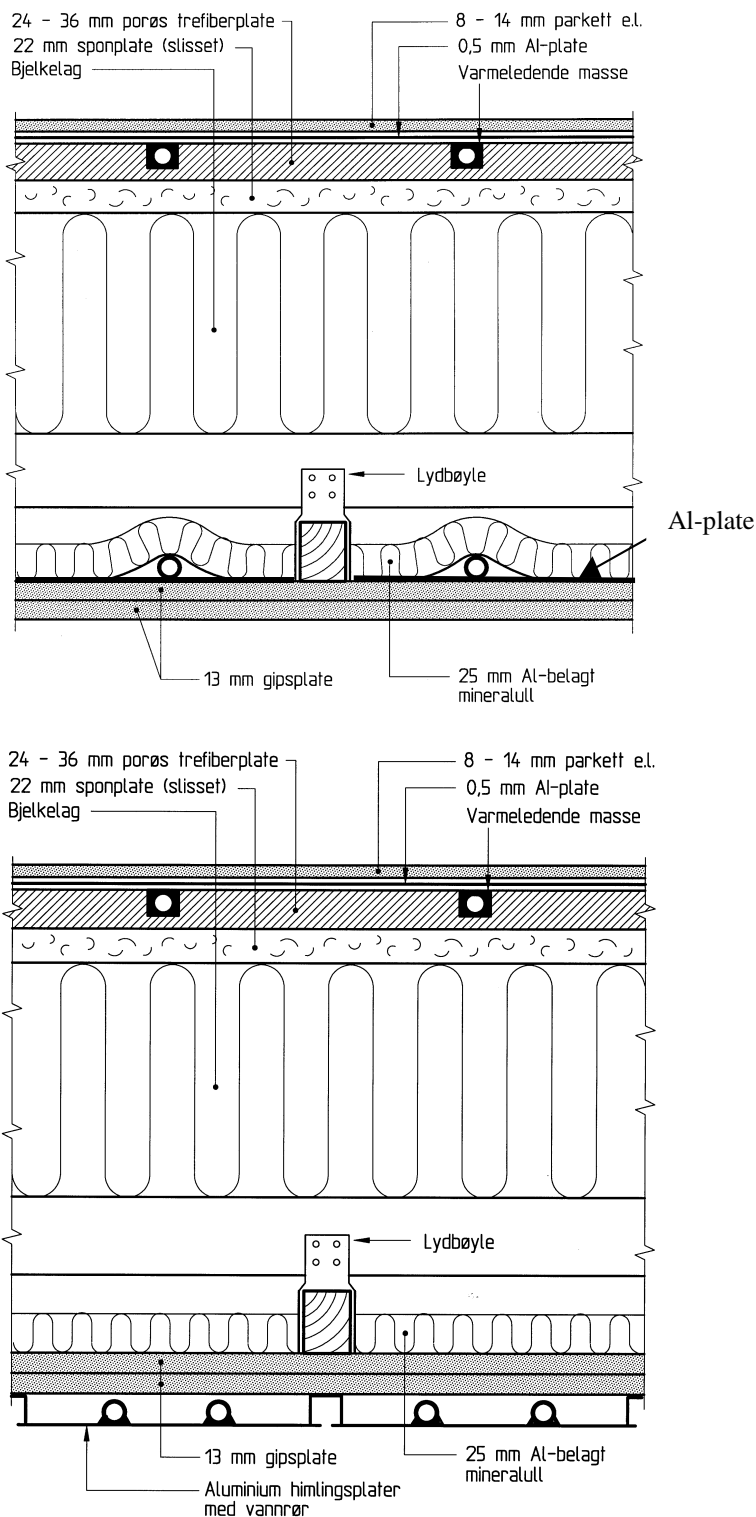


Fig. 13.2. Eksempel på "energibjelkelag" med gulv- og takvarme kombinert med trinn- og luftlydsisolasjon. Ved å konsentrere varmelegget for begge etasjer i tilknytning til mellombjelkelaget unngås ekstra varmeap til grunnen. I stedet for å bruke to gipsplater i himlingen og dermed øke varmemotstanden under takrørene, kan tilfredsstillende luftlydsdempning oppnås ved bruk av en plate ved å øke trinnlydsisolasjonen. Alternativt kan varmerørene legges i egne kassetter under lydhimlingen. Denne konstruksjonen er mindre varmetreg og godt egnet ved rehabilitering og kan brukes som kjøletak under sommerforhold. Man kan også bruke en annen utforming av kassetten for å øke heteplatens størrelse. Man har da mulighet for å øke den konvektive varmeavgivelsen fra takvarmeanlegget og dermed senke vanntemperaturen. Økt konvektiv varmeavgivelse fra takvarmeanlegget forutsetter større luftbevegelser i rommet.

14. Mekaniske egenskaper for lette, flytende gulvkonstruksjoner

Kortere byggetid kombinert med skjerpede krav til varme- og trinnlydisolasjon, fører bl.a. til økt bruk av flytende gulvkonstruksjoner. I motsetning til selvbærende bjelkelagsgulv, betonggulv og gulv med keramiske fliser med minimal nedbøyning ved belastning, er lette flytende gulv mer fleksible og har et annet nedbøyningsmønster. Det betyr at gulvoverflaten lokalt får en viss nedbøyning når den utsettes for punktlast. Denne nedbøyningen gjør gulvet mer behagelig å gå på, men samtidig kan den skape noe usikkerhet om gulvets langtidsegenskaper. Selv beskjedne lokale nedbøyninger (< 1,0 mm) under punktlaster er godt synlig selv om nedbøyningen er mindre enn det som mer vanlig ved vanlige bjelkelagsgulv. Man tillater gjerne her en nedbøyning for gulvbordene mellom bjelkene på 2,0 mm.

14.1 Forslag til mekaniske bedømmelseskriterier for flytende gulv

Det finnes i dag ikke kriterier eller standarder for hvor stor nedbøyning man maksimalt bør tillate for flytende gulv. Som kriteriegrunnlag for å bedømme flytende gulvs stivhet har det vært vanlig å foreta statiske målinger. Man måler da nedbøyningen med 1 kN punktlast og en sirkelformet lastflate med diameter 25 mm. For lette flytende gulv i boliger, hotellrom, etc., regnes stivheten ved punktbelastning å være god når nedbøyningen er mindre enn 1,5 mm, akseptabel når nedbøyningen er mellom 1,6 og 1,9 mm, og dårlig når nedbøyningen er 2,0 mm eller større.

Disse kriteriene er fastlagt på bakgrunn av et betydelig erfaringsgrunnlag fra flytende gulvkonstruksjoner spesielt i tilknytning til trinnlydisolasjon og lette gulv på grunnen løsninger. Nedbøyningen på 1,5 mm for flytende gulv er opprinnelig valgt for å unngå problemer med uheldig lastutbredelse for relativt stive plater på fleksibelt underlag. På grunn av endret nedbøyningsmønster er det viktig å velge materialkombinasjoner som tåler denne nedbøyningen uten at dette fører til støy eller andre problemer. Alternativet er at man må kreve stivere underlag for det flytende gulvet.

I tillegg til statiske nedbøyningsmålinger for flytende gulvkonstruksjoner kan det være nødvendig å utføre dynamiske målinger for å fastlegge gulvets langtidsegenskaper.

14.2 Prøvningsmetode

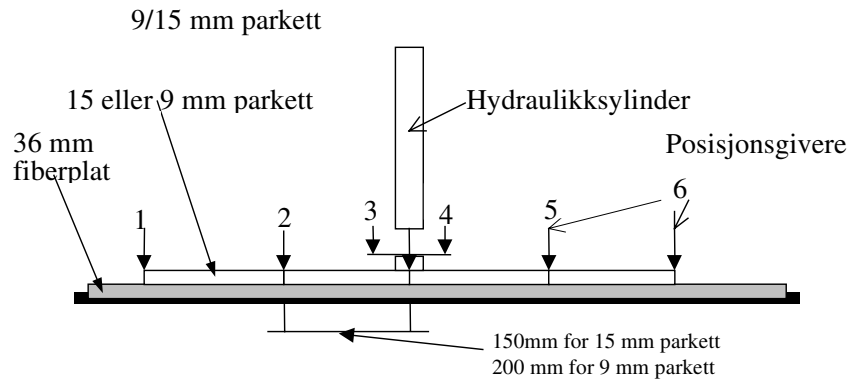
Figur 14.1 viser en testrigg basert på Nordtest metode Build 384 for statisk og dynamisk belastning av flytende gulvkonstruksjoner. Dynamisk last påføres ved hjelp av en karusell med tre roterende hjul hver med en hjullast på 1,0 kN. Dette skal tilsvare belastningen for boliger, hotellrom, etc.



Fig. 14.1. Prøverigg for statisk og dynamisk prøving av lette flytende gulv. (NT Build 384). Gulvkonstruksjonen under utprøving er 9 mm parkett lagt flytende på 36 mm tykke porøse trefiberplater.

Spesielt ved bruk av tynn parkett, laminat e.l. bør det også foretas egne statiske målinger for å bestemme lastfordelingen og dermed vinkelendringen i skjøtene, se *fig. 14.2*.

Plassering av posisjonsgivere ved belastning midt på skjõt.



Plassering av posisjonsgivere ved belastning midt på lamell.

9/15 mm parkett

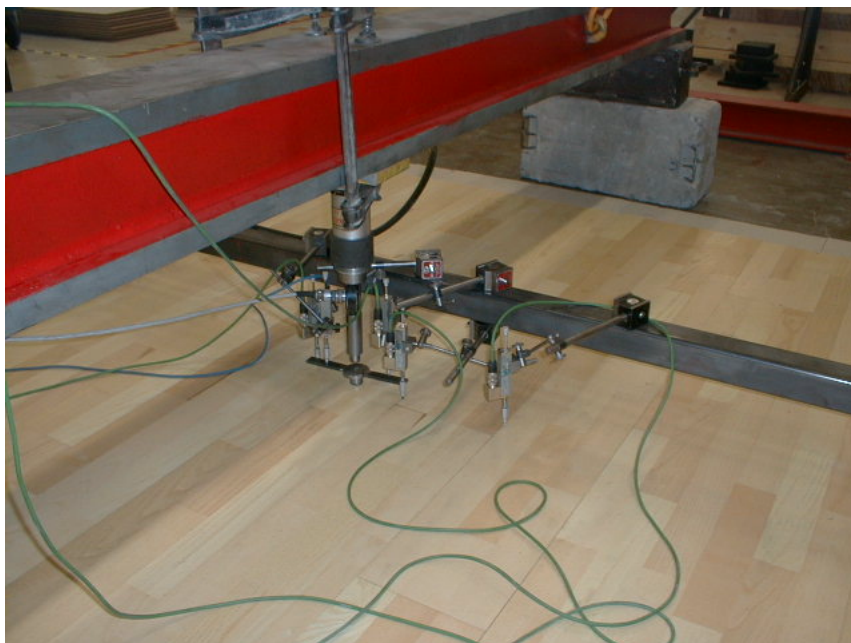
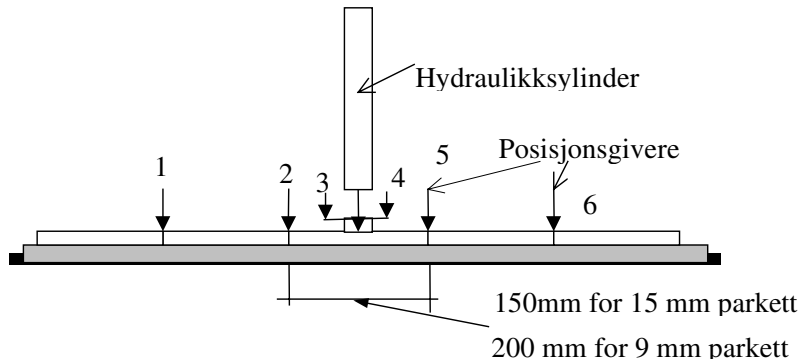


Fig. 14.2. Statiske målinger for å bestemme nedbøyning og lastutbredelse for tynn parkett på elastisk underlag (36 mm trefiberplate). Punktlasten er påført midt på lamell og i lamellskjõt.

14.3 Aktuelle underlagsmaterialer for lette gulv med gulvvarme

En rekke krav må stilles til materiallaget med varmerør under gulvbelegget. For å kunne utnytte lave vanntemperaturer er det viktig at varmemotstanden for materiallaget over varmerørene er lavest mulig. Dette betyr at underlagsmaterialet med varmerør og varmfordelingsplater må ha tilstrekkelig stivhet. Samtidig er det viktig at underlaget har en viss fleksibilitet for å sikre god trinnlydisolasjon. Topplagets oppgave er å sørge for tilstrekkelig lastfordeling når gulvet utsettes for punktlaster. I tillegg er det viktig at det er relativt enkelt å etablere spor for varmerørene i underlaget.

For lette gulvvarmeanlegg er det særlig tre typer underlag som er aktuelle for prefabrikkerte løsninger. Dette er XPS (ekstrudert polystyren) for store laster, EPS (ekspandert polystyren) i trykkstyrke kvalitet 30 kg/m³, eller porøse trefiberplater for moderate laster. Slike plater produseres i dag med ferdige spor for varmerør og varmfordelingsplater. Det er også relativt enkelt å lage spor i platene på stedet, noe som kan være nødvendig for å lette monteringsarbeidet. Hvis det stilles krav til ikke-brennbart materiale, for eksempel ved bruk av elektriske varmekabler, kan det også være en løsning å bruke spesielt trykksterk mineralullisolasjon som underlag.

14.4 Last/deformasjonsmålinger

Gulvkonstruksjonen er utsatt for ulike typer mekanisk belastning. Dette kan være statiske punkt-, flate- og linjelaster i kombinasjon med dynamiske laster. Dynamiske laster er gjerne konsentrert i visse soner med stor gangtrafikk der gulvet også kan bli utsatt for støtlaster. Slike laster må gulvet kunne tåle uten for store nedbøyninger eller varige setninger.

14.4.1 Statiske målinger

Figur 14.3 viser måling av trykkstryken for porøse trefiberplater (290 kg/m³) og to typer EPS-isolasjon i kvalitet 20 og 30 kg/m³. Målingene er utført etter ISO-standard 844.

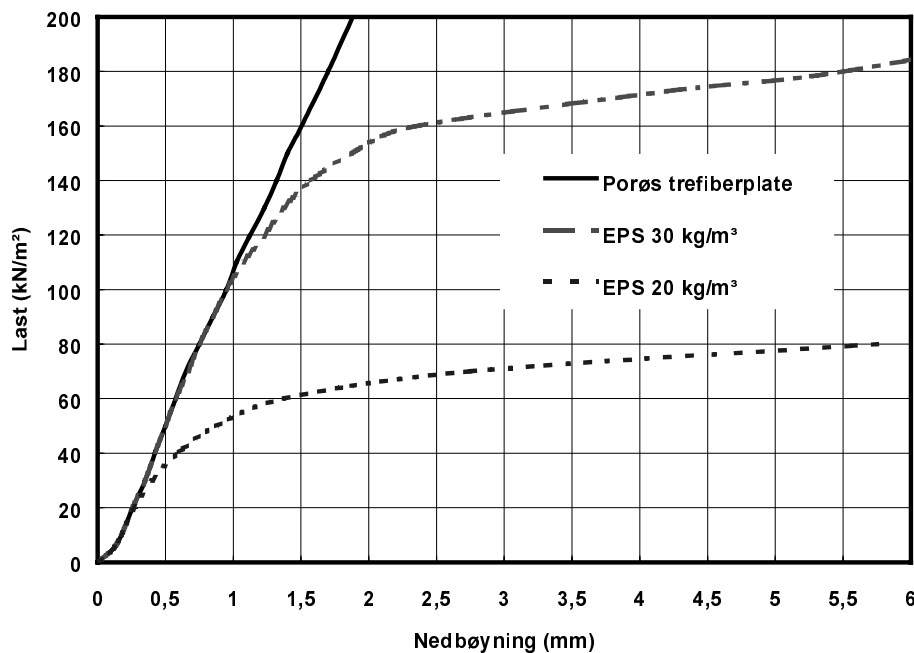


Fig. 14.3. Måling av sammenhengen mellom trykkstyrke og nedbøyning for 36 mm tykk porøs trefiberplate og 50 mm EPS-isolasjon (ISO - Standard 844)

Figur 14.3 viser at den porøse trefiberplaten er tilnærmet elastisk innen et deformasjonsområde på 2,0 mm som er aktuelt i gulvsammenheng. EPS-isolasjon derimot vil få en plastisk deformasjon når lasten øker. Når denne plastiske deformasjonen inntreffer, er direkte avhengig av isolasjonens styrkeegenskaper. En angitt korttidstrykkstyrke for EPS-isolasjon er i denne forbindelsen helt uinteressant da dette forutsetter en deformasjon på hele 10 %.

Figur 14.3, viser at 20 kg/m³ EPS-isolasjonen har en korttidstrykkstyrke 80 kN/m², mens tilsvarende styrke for 30 kg/m³ EPS-isolasjon er 175 kN/m². Tillatt langtidslast, der man over en periode på ca. 50 år tillater en deformasjon på 2 % eller 1,0 mm for en 50 mm platetykkelse, ligger på ca. en tredjedel av korttidstrykkstyrken. I dette tilfellet vil det for 20 kg/m³ tillates en langtids flatelast på ca. 30 kN/m² og tilsvarende 60 kN/m² for 30 kg/m³ isolasjonen. På bakgrunn av målingene angitt i *fig. 14.3* fremgår det at 30 kg/m³ EPS-isolasjon med en relativt beskjeden flatelast 60 kN/m², har en nedbøyning på ca. 0,6 mm eller 1,2 %. Over tid vil EPS-isolasjon som er utsatt for en flatelast som overstiger tillatt langtidslast utsettes for kryp og dermed varig deformasjon.

I henhold til tidligere angitte kriterier for tillatt nedbøyning for gulv i boliger, hotellrom, etc. med moderat belastning, bør gulvet tåle nedbøyninger i størrelsesorden 1 – 1,5 mm uten at dette gir varige deformasjoner. Det fremgår derfor av *fig. 14.3* at hvis EPS-isolasjon skal brukes som underlag for overbygningen er det viktig å velge isolasjon med tilstrekkelig trykkstyrke.

EPS-isolasjon i kvalitet 20 kg/m³ som er vanlig bygningskvalitet for gulv på grunnen med betongdekke, har utilstrekkelig styrke som underlag for tynn parkett eller plategulv. Det er imidlertid vanlig å tillate bruk av EPS-isolasjon i kvalitet 30 kg/m³ som underlag for 14 mm flytende parkettgulv i boliger og hotellrom. Man ligger da på grensen av hva gulvet kan tåle når det gjelder punktlaster. Imidlertid har EPS-isolasjon den egenskap at den virker som en støtdemper når gulvet utsettes for støtlaster. Dette forhindrer skader på parketten, men kan gi noe varig nedbøyning ved permanente laster. Man har større sikkerhet for å unngå langtidssetninger ved bruk av 36 mm porøse fiberplater. Da trefiberplaten samtidig er mer elastisk enn 30 kg/m³ EPS-isolasjon, oppnår man en vesentlig bedre trinnlydsdempning ved å bruke fiberplater.

14.4.2 Eksempel på nedbøyning og lastfordeling ved punktlaster på 9 og 15 mm parkett på 36 mm porøse trefiberplater, fig. 14.3.

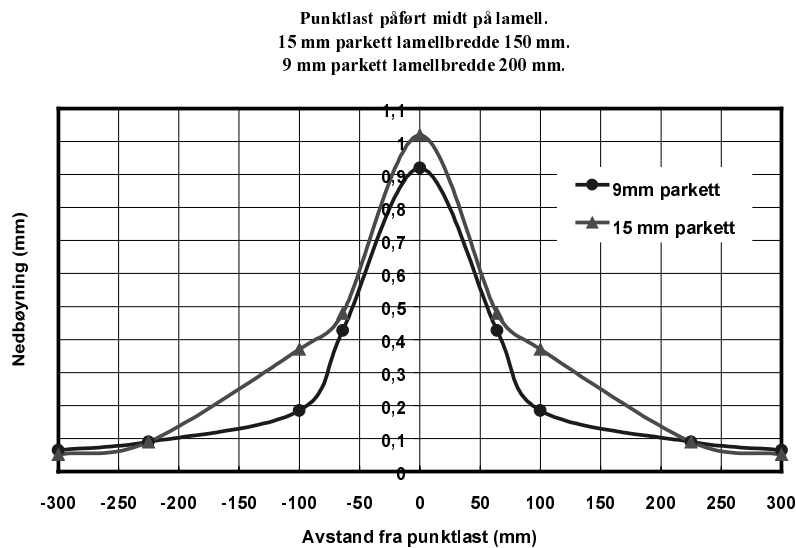
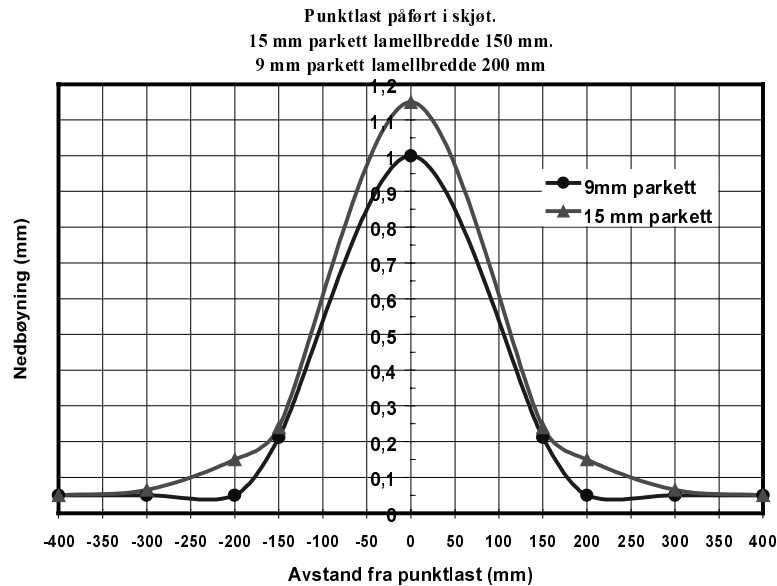


Fig. 14.4. Nedbøyning og lastfordeling når punktlasten 1 kN påføres midt på parkettlamell og i lamellskjøten. Overbygningen består av 9 mm eller 15 mm parkett over 36 mm porøse trefiberplater.

Målinger viser at nedbøyningen under punktlasten på 1 kN er tilnærmet lik for 9 og 15 mm parkett, og ligger på ca. 1,0 mm. Størst nedbøyning oppstår ved punktbelastning midt over en skjot. Imidlertid er forskjellen på nedbøyning midt på en lamell og i skjøten mellom lamellene liten og ligger i størrelsesorden 0,1 mm.

Det har sin naturlige forklaring at nedbøyningen for 9 og 15 mm parkett er tilnærmet den samme ved punktlaster på et flytende underlag. 15 mm parkett som er brukt i målingene, består av 3 – 4 mm slitelag, 7 - 8 mm sperresjikt og 4 mm underlagssjikt. Underlagssjiktet er ikke kontinuerlig, men har skrå spalter på 2 - 4 mm ved hver lamellskjøt. Underlagssjiktet

bidrar derfor minimalt til stivheten på tvers av lamellene når punktlaster påføres midt over en langsgående skjøt. I tillegg er lamellbredden 200 mm for den aktuelle 9 mm parketten mens den er 150 mm for 15 mm parketten. Begge forhold gjør at parkettyperne har omtrent samme lastfordelende egenskaper i den aktuelle gulvkonstruksjonen. Dette betyr også at trefiberplaten har relativt stor stivhet i forhold til parketten. Dette er statistisk gunstig da fiberplaten er dimensjonert for å ta hele lasten.

Ved å se nærmere på nedbøyningen og lastfordelingen midt på en lamell for 15 mm parkett, fremgår det at ca. halve nedbøyningen overføres til skjøtene. Resten av nedbøyningen opptas av parkettlamellen. For 9 mm parkett, som har 50 mm bredere lameller, vil større deler (ca. 80 %) av nedbøyningen opptas av lamellen. Dette bekrefter bare at 9 mm parkett har mindre stivhet på tvers av lamellen enn 15 mm parkett. Da skjøtene representerer det svake eller elastiske ledd i parketten, vil mindre lamellstivhet og større lamellbredde være gunstig hvis punktlasten påføres midt på lamellene. Dette forutsetter at underlaget har tilstrekkelig stivhet. Nedbøyningen målt med punktlasten midt på en lamell var da også ca. 10 % mindre for 9 mm parkett sammenliknet med 15 mm parkett samtidig som tilstøtende skjøter bare hadde halve nedbøyningen.

Ved tilsvarende å se på nedbøyningen ved belastning direkte over en langsgående skjøt, fremgår det at for 15 mm parkett vil tilstøtende lameller oppta ca. 80 % av punktlasten. Skjøtens elastisitet og evne til å tåle deformasjon er derfor vesentlig for parkettens levetid. For 9 mm parkett med lamellbredde 200 mm, vil nær all deformasjon opptas av tilstøtende lameller. På grunn av større lastflate vil nedbøyningen i skjøten være noe mindre enn for 15 mm parkett. Det betyr tilnærmet samme elastisitet og styrke i langsgående skjøter for 15 mm og 9 mm parkett.

Ovennevnet undersøkelse viser at lastutbredelsen for flytende tynn parkett påført punktlast er liten. Det betyr at det må stilles tilsvarende større krav til underlagets stivhet. Begge parkettyper krever derfor et relativt stivt underlag. Målinger viser at den porøse fiberplaten har disse egenskapene.

Sett på bakgrunn av angitte kriterier for sammenhengen mellom statisk last og nedbøyning, har gulvkonstruksjonen meget tilfredsstillende stivhet. En dynamisk prøve vil kunne gi svar på om det skjer utmattning og brudd i skjøten ved gjentatte belastninger.

14.4.3 Dynamiske målinger

Prøveoppstillingen for dynamiske nedbøyningsmålinger er vist på *fig. 21*. En karusell med diameter 1,7 m er påmontert 3 stk. Ø 200 mm gummihjul roterende midt på gulvflaten med en hastighet 10 omdr./min. Lasten på hvert hjul er 1,0 kN. Antall hjulpasseringer er større enn 350 000, og antas å tilsvare gulvets levetid på 30 - 50 år. Nedbøyningene måles kontinuerlig i en avstand 150 mm fra hjulbanen ved 6 målepunkter. I tillegg har vi foretatt optiske nedbøyningsmålinger inntil 30 mm fra hjulbanen. På denne måten får man et representativt bilde av dynamiske nedbøyninger over gulvflaten.

Målingene viste at gjennomsnittlig dynamisk nedbøyning av gulvet lå i samme størrelsesorden som ved de statiske målingene. Til tross for at det i dette tilfellet er utført 5 ganger flere belastningssyklus enn angitt i testmetoden, er det ved nærmere analyser ikke konstatert skader på parketten. De dynamiske målingene foretatt 150 med mer fra hjulets løpebane viser at nedbøyningene for 15 mm parkett stabiliserte seg etter 250000 syklus på et nivå under 1 mm. De optiske målepunktene 30 mm fra løpebanen ga nedbøyninger fra 0,8 –

1,5 mm. Nedbøyningen under lasten (hjulet) er ikke målt direkte, men kan være noe høyere enn for målepunktet 30 mm fra løpebanen. Ytterligere sykler førte ikke til økt deformasjon eller skader i skjøtene.

Tilsvarende nedbøyninger gjelder også for 9 mm parkett. Dette viser at fiberplaten beholder elastisiteten over tid når den er utsatt for moderate dynamiske belastninger. Samtidig vil parkettens begrensede nedbøyning og elastiske egenskaper føre til moderate spenninger i parketten. Man unngår dermed støy og utmattingsbrudd i parkettskjøtene.

Når det gjelder resultater fra dynamiske last/deformasjons målingene, gir disse indikasjon på at nedbøyningene som ligger innenfor tidligere brukte statiske bedømmelseskriterier for flytende gulvkonstruksjoner, sannsynligvis ikke vil føre til skader over tid.

14.4.4 Konklusjon

Måleresultatene er interessante og viser at det er statisk riktig å bygge opp en flytende gulvkonstruksjon med et tynt toppsjikt på et relativt fleksibelt underlag som samtidig sørger for bæringen. Toppsjiktets oppgave er mekanisk å fordele punktlaster til underlaget, og tilsvarende termisk å fordele temperaturen over gulvflaten. Denne gulvkonstruksjonen er meget gunstig med hensyn på et gulvvarmeanlegg med bruk av lave vanntemperaturer. Gulvoppbyggingen har samtidig gode bruksegenskaper og god trinnlydsdemping.

Tradisjonell gulvoppbygging der toppskiltet har bærende egenskaper som i bjelkelag, er lite egnet for relativt fleksible flytende gulvkonstruksjoner. Stor stivhet av topplaget krever normalt tilsvarende stivhet av underlaget. Vanlig høydeavvik for boliggulv, etter NS 3420, med 5 mm over en målelengde på 2 m, vil også skape problemer ved bruk av et flytende stivt topplag. Man ender da opp med en statisk ubestemt gulvkonstruksjon som kan ha relativt store nedbøyninger. Ved bruk av flytende heltre gulv på fleksibelt underlag, vil man få store spenninger i skjøtene på grunn av stor stivhet av gulvbordene. Da skjøtene (not/fjær) normalt ikke har samme styrke som gulvbordene, vil man kunne risikere å få relativt store vinkelendringer i skjøtene. Dette vil ofte føre til støyproblemer (knirk), særlig for tykkere gulvbord.

15. Oppvarmingskarakteristikk for elektrisk og vannbåren gulvvarme

15.1 Elektriske varmekabler, laboratiemålinger

Figur 15.1 - 15.3 viser laboratiemålinger av temperaturstigningen på gulvoverflaten direkte over en elektrisk varmekabel i en lett gulvkonstruksjon tilsvarende *fig. 12.2, 12.7, 13.1 og 13.2*. Over Al-platen og varmekablene som ligger i pussmørtel i spor i fiberplaten eller EPS-isolasjon, er det brukt 9 mm parkett eller 13 mm gipsplate og 9 mm parkett. Varmetilførselen er i dette tilfellet konstant med avgitt effekt 17 W/m varmekabel eller 85 W/m².

Senteravstanden mellom varmekablene er 200 mm. 17 W/m varmekabel er normalt maksimalt tillatt effekt for en vanlig type toleder elektrisk varmekabel i gulvvarmesammenheng.

Pussmørtel er lagt rundt varmekabelen for å forbedre kontakten med overliggende Al-plate og unngå at kableen har direkte kontakt med brennbart materiale.



Fig. 15.1 . Varmekabel i spor i EPS-isolasjonsplate med pussmørtel, flytesparkel e.l. med overliggende Al-plate

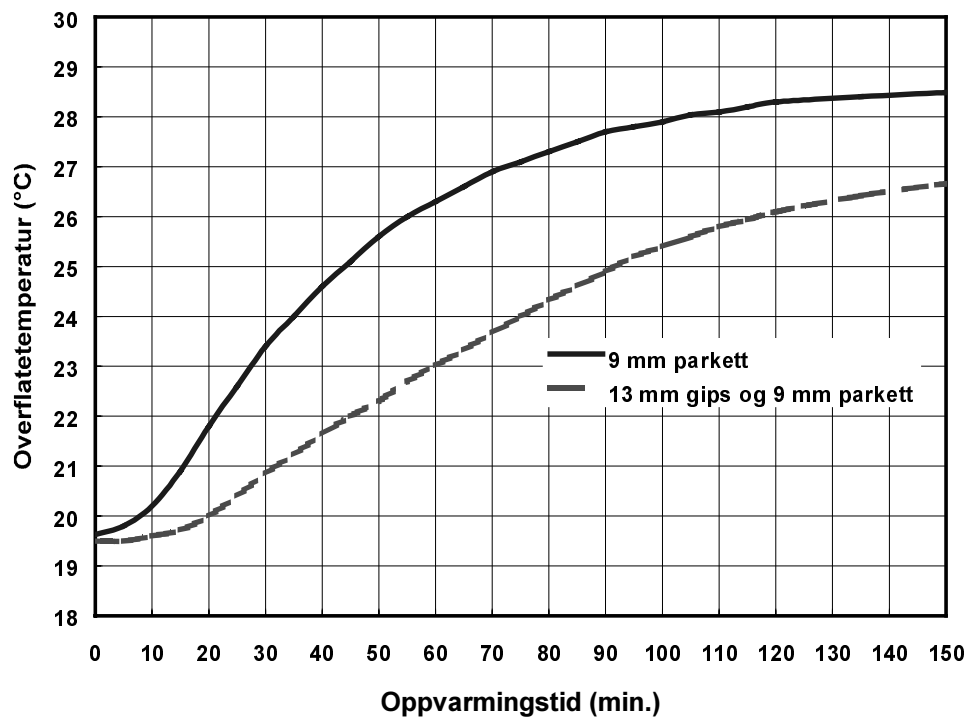


Fig. 15.2. Laboratiemålinger. Temperaturstigningen på gulvoverflaten direkte over en elektrisk varmekabel i en lett gulvkonstruksjon, fig. 12.2, 18 og 20. Avgitt effekt er konstant 17 W/m varmekabel eller 85 W/m² (kabelavstand 200 mm). Romlufttemperaturen i oppvarmingsperioden ligger mellom 19,5 – 20,1°C og starttemperaturen for gulvkonstruksjonen er 19,5 °C.

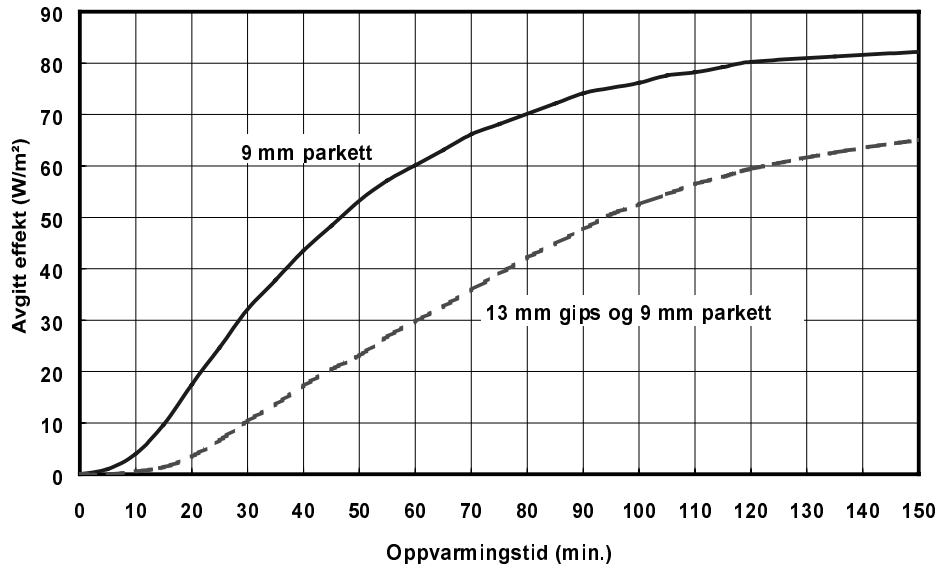


Fig. 15.3. Laboratiemålinger. Avgitt varme fra gulvoverflaten under en oppvarmingsperiode. Avgitt effekt fra varmekablene er konstant 17 W/m eller 85 W/m². Forøvrig samme randbetingelser som angitt i fig. 15.2.

Det fremgår at dødtiden fra effektpådrag til man registrerer temperaturøkning på gulvoverflaten er ca. 5 min. Hvis varmebehovet forutsetter en temperatur på gulvoverflaten på 24 °C, fremgår det av fig. 15.3 at oppvarmingstiden øker fra 35 til 75 min. når det legges 13 mm gipsplate under parketten. Tidskonstanten (ca. 63 % av full varmeavgivelse) vil i dette tilfellet fordobles fra ca. 50 til 100 min. Dette viser at gulvvarmeanleggets varmetreghet er svært følsom for topplaget over varmerørene. Pussmørtelen eller flytesparkelen rundt varmekablene vil også bidra til å øke gulvets varmetreghet. Ved bruk av elektriske varmekabler vil varmeavgivelsen fra gulvet, og dermed temperaturen på gulvoverflaten, være bestemt av tilført effekt og tilnærmet være uavhengig av gulvoppbyggingen. Derimot vil kabeltemperaturen variere betydelig. Stor varmemotstand for topplaget over kablene og dårlig varmeoverføring fra kabelen til varmfordelingsplaten vil gi meget høye kabeltemperaturer som igjen kan resultere i større varmetap for gulv på grunnen. Dårlig varmeoverføring gir også et mer varmetregt varmeanlegg.

Det er en rekke tiltak som kan gjennomføres for å forbedre varmeavgivelsen fra selve hetetråden til gulvoverflaten. Her bør man først starte med selve varmekabelen. Under dimensjonerende forhold med maksimal tillatte overflatetemperaturer på kabelen, vil man kunne ha en temperaturforskjell mellom hetetråden og kabeloverflaten på hele 20 °C. Dette skyldes liten overflate på hetetråden og lav varmeledningsevne både for den elektriske isolasjonen rundt hetetråden og kabelens beskyttelseskappe. Vanligvis brukes 0,8 mm tykk beskyttelseskappe i PVC plast med varmeledningsevne ned mot 0,15 W/mK. Denne varmeledningsevnen bør kunne forbedres vesentlig ved å bruke tilsetningsstoffer i plasten med høyere varmeledningsevne.

For å sikre bedre varmetilførsel til varmfordelingsplaten og dermed å redusere tidskonstanten for gulvvarmeanlegget kan kablene legges ned i omega-plater i aluminium som for varmerør, se fig. 15.4. Man kan også redusere avstanden mellom kablene. Redusert kabelavstand betyr mindre effekt pr. meter kabel som gir lavere overflatetemperatur og dermed lavere varmetap til undergrunnen. Da kablene i dette tilfellet vil bli liggende i direkte kontakt med brennbart materiale kreves det bruk av selvregulerende varmekabler.



Fig. 15.4. Omega-plate i Al for selvregulerende varmekabler.

Hvis man ønsker å bruke vanlige toleder-varmekabler skal kablen ikke ligge i direkte kontakt med brennbare materialer. Man kan for eksempel legge kablene i spor i trykksterk mineralull der kabeloverflaten har direkte ledende kontakt med overliggende Al-plate, se *fig. 15.5*. Ved bruk av elektriske varmekabler vil man ved å redusere senteravstanden mellom kablene redusere effekten pr. m kabel og dermed kabeltemperaturen. Det er dermed lettere å få en god varmefordeling og unngå overtemperaturer.

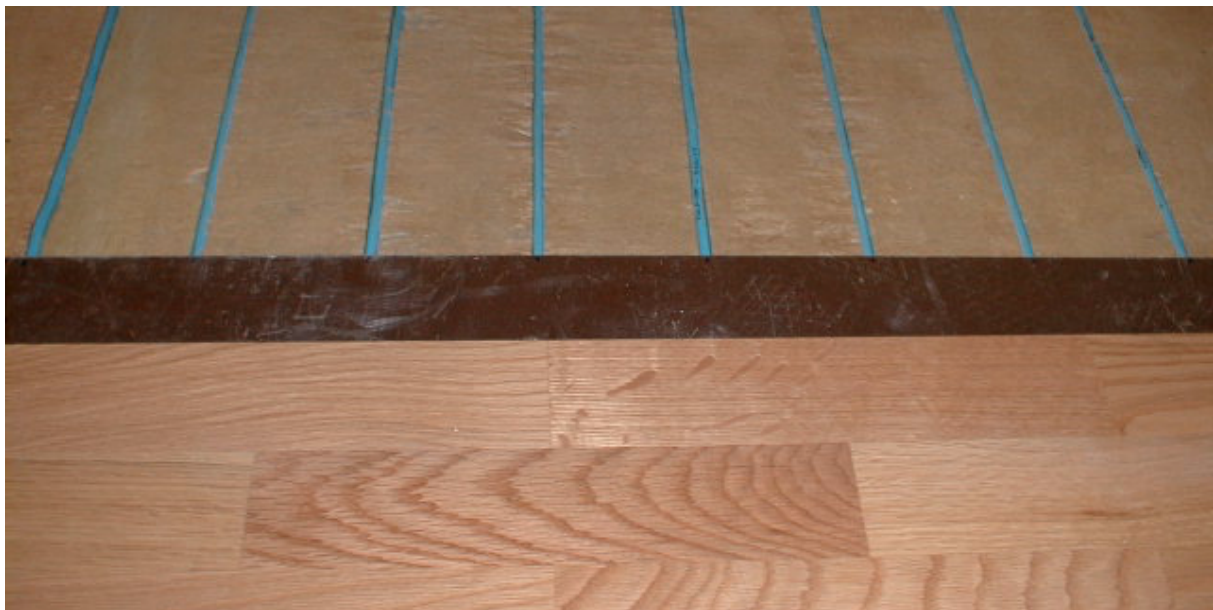


Fig. 15.5. Vanlige toleder varmekabler i spor i trykkfast mineralull med overliggende Al-plate. Kablene har direkte ledende kontakt med Al-platene som evt. kan jordes. Senteravstanden mellom kablene er 100 mm som gir god temperaturfordeling med lav kabelbelastning og overflatetemperatur på kablene.

15.2 Vannbåren varme

Oppvarmingskarakteristikken for vannbåren gulvvarme er vesentlig forskjellig i forhold til ved bruk av elektriske varmekabler, se *fig. 15.6 – 15.8*. Varmerørene i *fig. 15.6* er lagt i pussmørtel, flytesparkel, e.l. med 9 mm parkett som overbygning. Vannhastigheten er 0,23 m/s.

I stedet for heldekkende Al-plate og sparkelmasse, er det i *fig. 15.7* brukt profilplater (omega-plater) i aluminium, se *fig. 12.8*. Samtidig er vannhastigheten økt fra 0,23 til 0,88 m/s. Man får dermed et meget beskjedent temperaturfall over gulvflaten. På grunn av bedre varmeoverføring mellom vannrør og Al-plate og mindre masse som skal oppvarmes, vil dødtiden fra effektpådrag til man registrere temperaturøkning på gulvoverflaten reduseres fra 5 til 2 minutter.

For det vannbårne anlegget vil avgitt effekt fra varmerørene være betydelig i startfasen. Dette skyldes store temperaturforskjeller mellom varmerør og gulvkonstruksjonen og vannets store varmekapasitet. I dette tilfellet med vanntemperatur ca. 40 °C, vil effekten i startfasen ligge over 100 W/m rør, tilsvarende over 400 W/m². Under stasjonære forhold, 40 °C vanntemperatur og 20 °C romtemperatur, er avgitt effekt fra gulvoverflaten for de aktuelle konstruksjonene 13 - 15 W/m rør eller 65 - 75 W/m². Da pussmørtelen som er brukt har relativt lav varmeledningsevne (ca. 1,0 W/mK), økes varmeavgivelsen med ca. 15 % ved bruk av Ω -plater. Samtidig vil varmetregheten reduseres betydelig.

Målinger viser at av tidskonstanten for gulvkonstruksjonen med 9 mm parkett øker med 30 min. fra ca. 12 til 42 min. når Ω -platen erstattes med pussmørtel. Tilsvarende tidskonstant for gulvet med elektriske kabler i pussmørtel ligger på ca. 50 min. Skal man derfor ha et gulvvarmeanlegg med lavest mulig tidskonstant for oppvarming med bruk av vannbåren varme eller vanlige toleder elektriske kabler, må rør og kabeloverflaten ha mest mulig direkte ledende kontakt med varmefordelende Al-plater.

Målingene viser at lette gulv og vannbåren varme er en effektiv kombinasjon for å sikre kort oppvarmingstid. Den lave effektdynamikken for lavtemperatur varmeanlegg kan derfor til en viss grad kompenseres ved bruk av lett gulvutførelse og vannbåren varme. Vannbårne varmeanlegg vil på grunn av vannets store varmekapasitet, ha mulighet for betydelig effektpådrag i en oppvarmingssituasjon. Dette i motsetning til bruk av elektriske varmekabler med konstant avgitt effekt. Derimot vil elektriske varmekabler kunne gi varmetilskudd under dimensjonerende forhold i de tilfeller man ikke har mulighet for, eller gir dårlig energieffektivt å øke vanntemperaturen. Hvis elektriske varmekabler skal sørge for den dynamiske effektbalansen, er det en fordel at gulvkonstruksjonen er minst mulig varmetreg. Varmekablene bør derfor legges i direkte kontakt med varmefordelingsplater i aluminium.

I motsetning til bruk av elektriske varmekabler med konstant effekt, er varmeavgivelsen fra gulvoverflaten med bruk av vannbåren varme helt avhengig av overbygningen over varmerørene. For en og samme gulvkonstruksjon økes varmeavgivelsen ved å øke vanntemperaturen eller vannføringen. Økt vannføring vil redusere avkjølingen av vannet over rørstrekket og dermed gi mer homogene overflatetemperaturer over gulvflaten. Dette er av vesentlig betydning for gulvvarmeanlegg som skal utnytte lave vanntemperaturer, se *fig. 15.8*.

Det finnes også selvregulerende varmekabler der avgitt effekt varierer med kabeltemperaturen. Høy kabeltemperatur gir lav effekt. Variasjonsområdet for avgitt effekt for disse kablene i en oppvarmingsfase vil imidlertid være vesentlig mindre enn for vannbårne systemer.

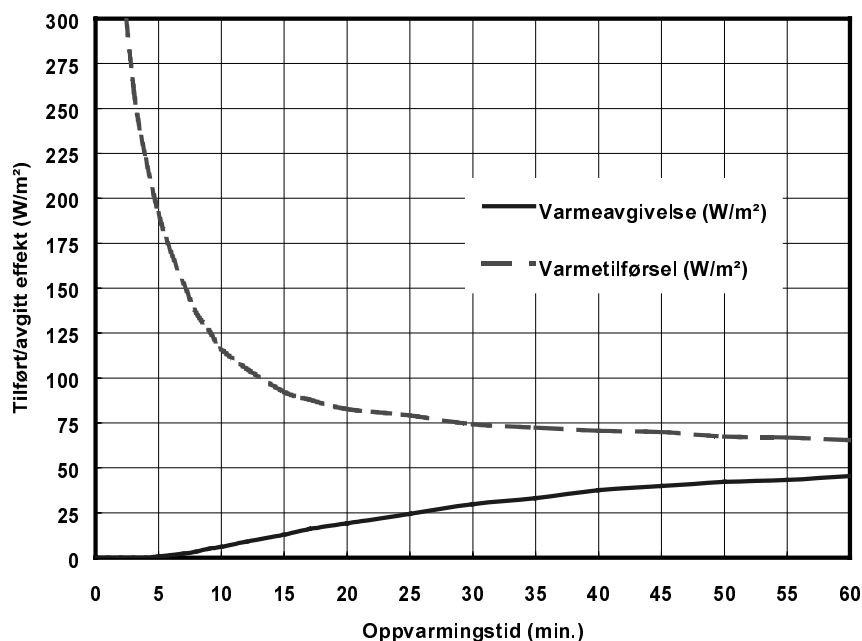


Fig. 15.6. Laboratiemålinger. Tilført og avgitt varme fra et vannbårent lett gulvvarmeanlegg i en oppvarmingsperiode. Varmerør omgitt av pussmørtel i spor i EPS-isolasjon. Overbygningen er 0,5 mm heldekkende Al-plate og 9mm parkett. Turtemperaturen er konstant 40 °C. Dødtiden fra effektpådrag til man registrerer temperaturøkning på gulvoverflaten er ca. 5 min. Romlufttemperaturen er konstant 20 °C. Vannhastigheten er konstant 0,23m/s.

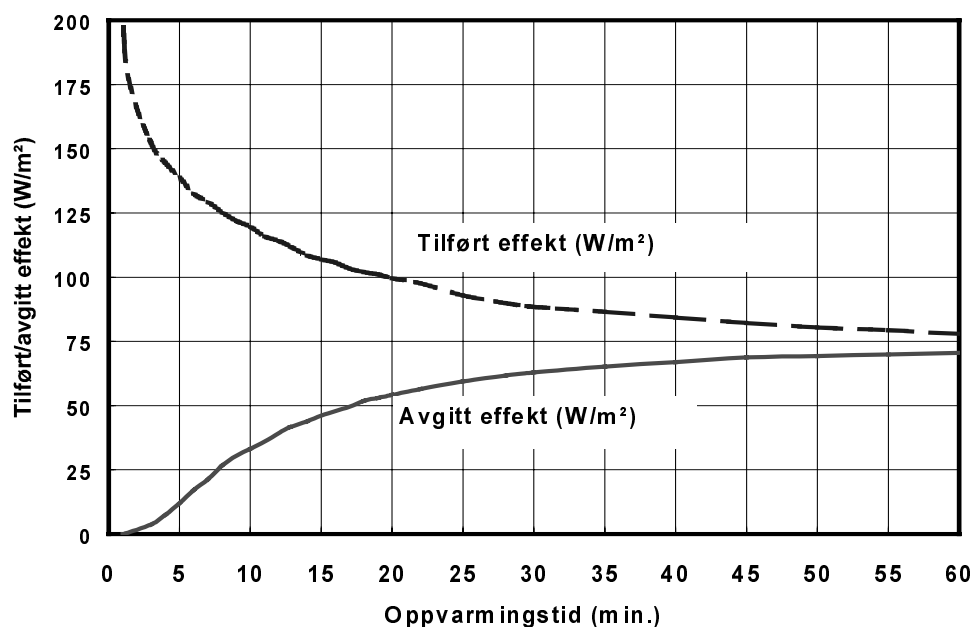


Fig. 15.7. Laboratiemålinger. Tilført og avgitt varme fra et vannbårent lett gulvvarmeanlegg i en oppvarmingsperiode. Varmerørene ligger i spor i fiberplater. Varmefordelingen besørages av Al-omega plater og gulvbelegget er 9 mm parkett. Turtemperaturen på vannet er konstant ca. 40 °C og romtemperaturen 20 °C. Vannhastigheten er konstant 0,88 m/s. Dødtiden fra effektpådrag til man registrerer temperaturstigning på gulvoverflaten er ca. 2 min.

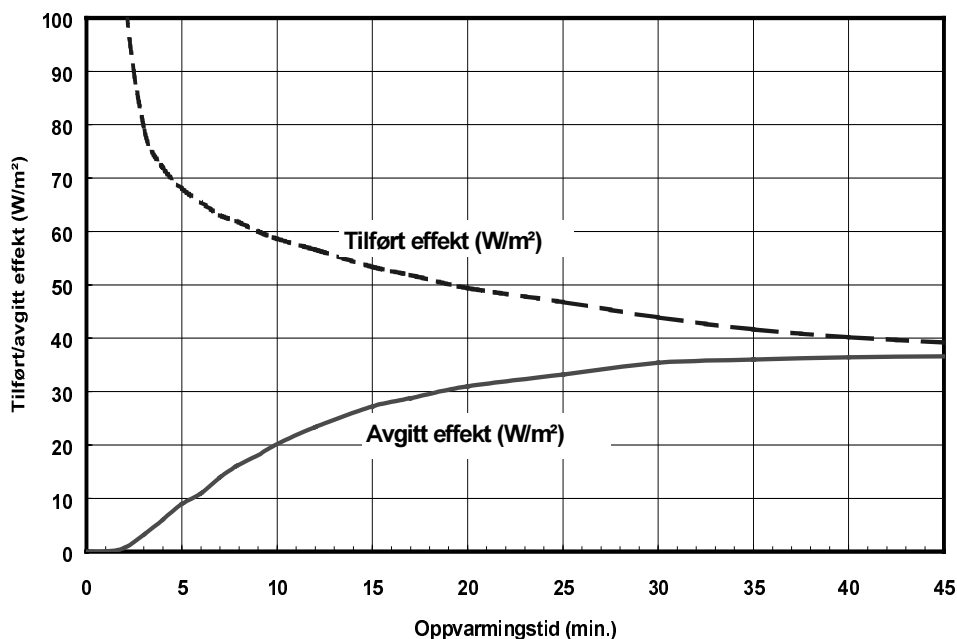


Fig. 15.8. Laboratiemålinger. Tilført og avgitt varme fra et vannbårent lett lavtemperatur gulvvarmeanlegg i en oppvarmingsperiode. Varmerørene ligger spor i fiberplater. Varmefordelingen besørjes av Al-omega plater og gulvbelegget er 9 mm parkett. Middelttemperaturen er konstant ca. 30 °C og romtemperaturen 20 °C. Vannhastigheten er konstant 0,7 m/s.

16. Kombinerte løsninger

16.1 Elektrisk og vannbåren gulvvarme

Bruk av lave vanntemperaturer (30 – 35 °C) i gulvvarmeanlegg vil ikke alltid være i stand til å dekke hele varmebehovet. Dette vil være bestemt av gulvoppbyggingen, klimaforhold og varmebehov. Spesielt for lavkvalitetsvarmekilder der det inngår en varmepumpe, er det viktig for optimal energiutbytte å redusere tilskudd av elektrisitet eller annen høykvalitetsenergi til et minimum. Dette oppnås mest effektivt ved å redusere vanntemperaturen og dermed øke varmepumpens effektfaktor og i stedet supplere med mer direkte bruk av høykvalitetsenergi til topplastdekning, se fig. 16.1. Man har da også mulighet for individuell regulering av temperaturen i de enkelte rom etter behov uten å måtte heve vanntemperaturen i hele anlegget. Dette er bare en videreføring av de forholdene man allerede har i dag der lys og andre elektriske installasjoner allerede dekker fra 5 % til 25 % av varmebehovet i en bolig.

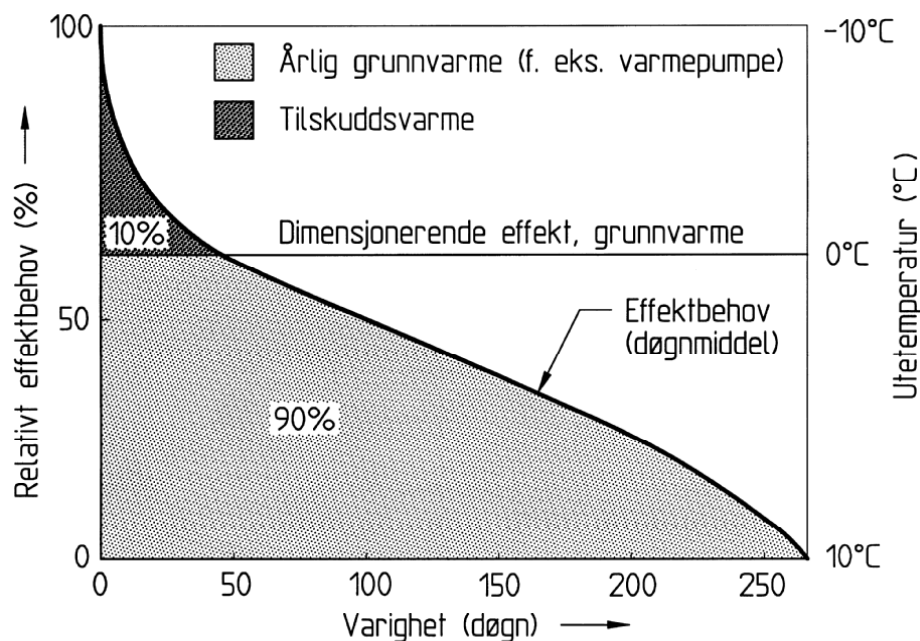


Fig. 16.1. Eksempel på effekt-varighetsdiagram for boligoppvarming. Lavtemperaturvarme sørger for grunnvarmen, mens effekttoppene besørages av tilskuddsvarme (el., olje, gass).

Ved generelt å heve vanntemperaturen vil systemets varmetap øke, samtidig som løsningen krever mer aktiv temperaturstyring av det vannbårne varmeanlegget for å sikre god energieffektivitet. Uansett utførelse av det vannbårne gulvvarmeanlegget, vil en individuell temperaturregulering i de enkelte rom være relativt kostbar. Det settes samtidig større krav til gulvvarmeanlegget oppbygging og funksjon. Det har ingen hensikt med et kostbart, avansert reguleringsutstyr som ikke er tilpasset varmeanlegget.

16.2 Lette gulv

Høye vanntemperaturer kan unngås ved å kombinere elektrisk og vannbårne gulvvarme. Alternativt kan lavtemperatur gulvvarme kombineres med elektriske panelovner. Det er viktig å være klar over at ideell overflatetemperatur for gulv for personer med lett innendørs fottøy er 23 °C, se fig. 16.2. Når lufttemperaturen er 20 °C, svarer dette til en gjennomsnittlig varmeavgivelse fra gulvet på 30 W/m². Det betyr at det vil være en rekke personer som finner det relativt ubehagelig når gulvtemperaturen kommer opp mot 26 – 27 °C. Temperaturer som vanligvis settes som maksimal overflatetemperatur på gulv i oppholdsrom. Med en lufttemperatur på 20 °C, betyr det varmeavgivelse på 65 – 75 W/m², som reduseres til 40 – 52 W/m² når lufttemperaturen økes til 22 °C. Operativ temperatur vil normalt ligge 1-2 °C høyere. Dette viser at man har visse begrensninger ved bruk av rene gulvvarmeanlegg. Man kan imidlertid øke gulvtemperaturen noe i en randsone mot yttervegger, alternativt supplere med annen oppvarming. Hvis man ønsker å unngå å bruke elektriske panelovner kan et par av rørslyngene mot yttervegg erstattes av en elektrisk varmekabel, se fig. 16.3. Man kan i prinsippet bruke samme type utførelse for varmekablene som for vannbårne systemer i lette gulvkonstruksjoner.

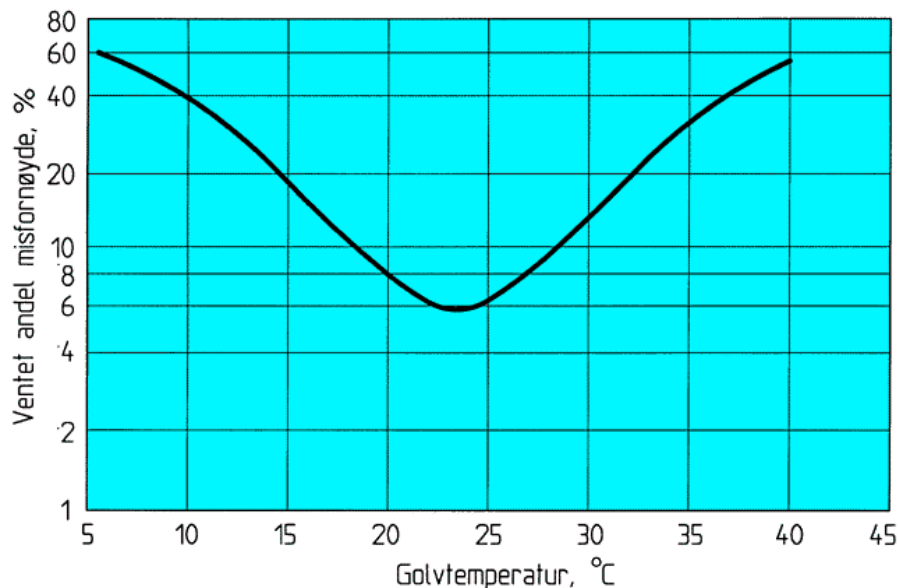


Fig. 16.2. Prosent misfornøyde som funksjon av golvtemperaturen for mennesker med lett, innendørs fottøy [6].

Varmerøret erstattes med en elektrisk varmekabel som for eksempel kan legges i ledende masser i spor i trefiberplaten eller ubrennbar trykksterk isolasjonen med overliggende Al-plate. Den elektriske varmekabelen eller panelovnen vil da kunne stå for den dynamiske reguleringen av innelufttemperaturen. Dette gir enkel, rimelig, individuell og energieffektiv temperaturregulering. Man har også mulighet for å tilføre noe varme i overgangsperioder vår og høst uten å sette i gang det vannbårne hovedanlegget. Dette har stor betydning for å unngå overoppheting og samtidig redusere tomgangstapet fra ventiler, pumper og forsyningsrør. Samtidig utnytter man to uavhengige varmekilder og oppnår stor fyringssikkerhet. Det vil stadig være det vannbårne varmeanlegget som dekker grunnoppvarmingen og står for hoveddelen av energibehovet. Vannbåren lavtemperatur varme står for. Det betyr at reguleringen av det vannbårne anlegget kan gjøres meget enkelt og rimelig.

16.3 Tunge gulv

Individuell temperaturregulering er en vesentlig kostnad i tradisjonelt utførte gulvvarmeanlegg. Reguleringssystemet vil kunne utgjøre mer enn en tredjedel av samlede anleggskostnader for varmeanlegget. Som tidligere vist vil temperaturregulering på basis av romtermostater være lite effektive på grunn av lang tidskonstant og stor varmekapasitet. Man får da lett store svingninger i temperaturen ute av fase med varmebehovet, noe som er lite energieffektivt og innebærer utilfredsstillende inneklimate.

Som et alternativ til lette gulvvarmeløsninger kan problemet med dårlig temperaturkontroll igjen unngås ved bruk av kombinerte løsninger. Varme anlegget kjøres da med konstant lav vanntemperatur mens mindre elektriske panelovner står for temperaturreguleringen. Dette gir en mer energioekonomisk drift av eldre varmetrege gulvvarmeanlegg med betydelig betongtykkelser. Betonggulvet vil da også kunne tjene som varmelager. Bruk av varmelager har også stor betydning når elektrisitet er eneste energikilde. Man har da mulighet for å lade opp gulvkonstruksjonen i laveffektperioder, for eksempel om natten med rimeligere nattkraft dersom dette er tilgjengelig. Man oppnår da både bedre energieffektivitet og lavere driftskostnader.

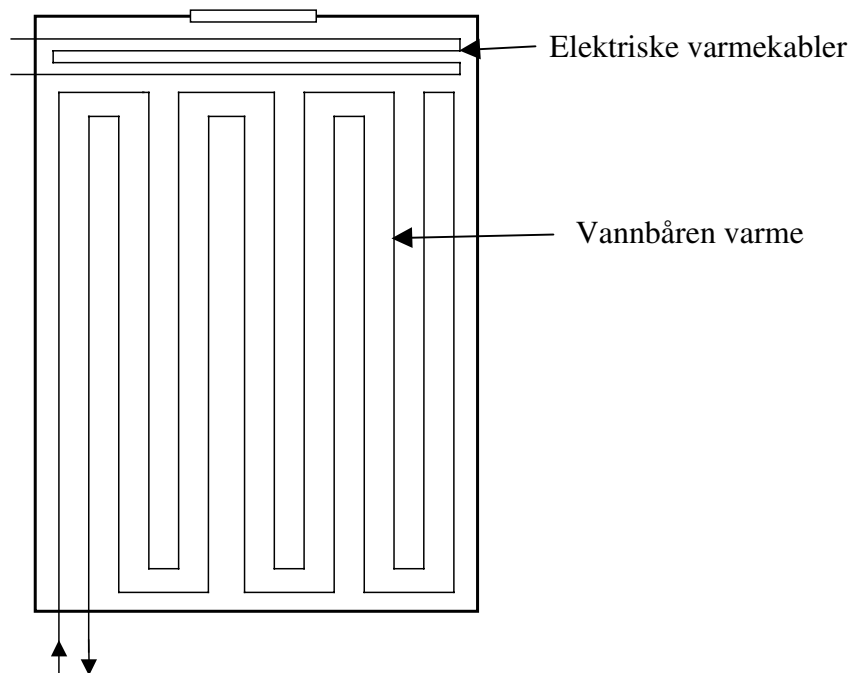


Fig. 16.3. Prinsippskisse. Ved å bruke lett utførelse og kombinere elektrisk og vannbåren lavtemperatur gulvvarme kan man utnytte meget lave vanntemperaturer og samtidig sikre god temperaturregulering. For å unngå for store effekter pr. m kabel, bør avstanden mellom kablene være mindre enn for varmerørene.

17. Tak- og gulvvarme

Ved å øke den aktive heteflaten er det mulig å senke vanntemperaturen vesentlig. Man kan for eksempel bruke både gulv- og takvarme og dermed i prinsippet dobler heteflatens størrelse i forhold til et rent gulvvarmeanlegg. Det betyr halvering av spesifikt varmebelastning pr. m² heteflate. Hvis man har en bygning med et gjennomsnittlig varmebehov på 65 W/m² gulvflate, kan dette for eksempel fordeles med 40 W/m² på gulv og 25 W/m² på takflate med bruk av samme vanntemperatur. Det betyr at også bygninger med relativt stort varmebehov kan utnytte meget lave vanntemperaturer. En annen fordel med å bruke både tak og gulvvarme er at takvarmeanlegget også kan brukes til kjøling under sommerforhold. Utførelsen forutsetter bruk av integrerte, gjerne prefabrikkerte løsninger der kostnadene ved å etablere heteflater bare utgjør en mindre del av selve varmeanlegget.

18. Referanser

- [1] NVEs byggoperatør publikasjon 1/99. Energieffektivitet ved energifleksible oppvarmingsystemer
- [2] Gundersen, Per. Rimelige lavenergiboliger med rasjonelle installasjoner. NBI prosjektrapport 196. Oslo 1996.
- [3] Gundersen, Per. Energieffektive varmeanlegg med vannbåren lavtemperaturvarme. Norsk VVS nr. 6. 1998.
- [4] Gundersen, Per. Energifleksible og kostnadseffektive varmeanlegg i fremtidens boliger. Norsk VVS nr. 3 og 4. 1997.
- [5] Advanced Houses of the World. CADDET Analyses Series No. 14. 1995.
- [6] NBI byggdetaljer 421.501. Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort. 1999.

Vedlegg 1

Eksempler

Eksempel 1

Gulv på grunnen med gulvvarme i Oslo

Bolig isolert etter ny byggeforskrift

Energibalanse for gulvvarmeanlegget i referanseboligen [1] med samlet oppvarmet gulvflate på 138 m² herav 85 m² gulv på grunnen og 53 m² gulv i mellombjelkelag. Gulvet på grunnen er isolert i henhold til ny byggeforskrift (200 mm gulvisolasjon). Det er ingen varmegjenvinning av ventilasjonsluften.

- Varme- og effektbehov: 12000 kWh, ca. 50 W/m²
- Maksimal overflatetemperatur på gulvet: 25 °C
- Grunnflate for gulv på grunnen: 85 m².

Tradisjonell oppbygging av varmeanlegget (50 mm betong med varmerør og 15 mm parkett).

Tilleggsvarmetap fra gulvvarmeanlegget for gulv på grunnen i vinterhalvåret:

$$5,8 \cdot 85 = 493 \text{ kWh} \quad (\text{se fig. 8.1})$$

Varmestrålingen gjør det i dette tilfellet mulig å senke romlufttemperaturen med 1,0 – 2,0 °C.

Energigevinst ved 1,0 og 2,0 °C temperatursenkning

Tempertursenkning	1,0 °C	2,0 °C
Transmisjon	390 kWh	730 kWh
Ventilasjon/infiltrasjon	590 kWh	1170 kWh
SUM	980 kWh	1900 kWh

Samlet potensiell energigevinst ved bruk av gulvvarme:

Temperatursenkning: 1,0 °C

$$980 - 493 = 487 \text{ kWh}$$

Temperatursenkning: 2,0 °C

$$1900 - 493 = 1407 \text{ kWh}$$

Avhengig av temperatursenkningen vil energibesparelsen ligge mellom 4 - 12 % av samlet varmebehov. Et gulvvarmeanlegg med vannrør innstøpt i 50 – 100 mm tykt betonggulv er varmetregt (> 2 timer). Stor termisk treghet kombinert med lav vannetemperatur (effekttilførsel) vanskeliggjør temperaturreguleringen som igjen kan gi økt energiforbruk. Vinduer med U-verdi 1,6 W/m²K (krav i ny byggeforskrift) vil på kalde dager gi noe kaldras som må kompenseres ved å øke lufttemperaturen og dermed energiforbruket. Begge forhold som vil redusere varmeanlegget energieffektivitet.

Eksempel 2

Gulv på grunnen med gulvvarme i Oslo

Lavenergibolig

Energibalanse for gulvvarmeanlegget i referanse lavenergiboligen med samlet oppvarmet gulvflate på 138 m² herav 85 m² gulv på grunnen og 53 m² gulv i mellombjelkelag. Boligen er utstyrt med varmegjenvinning for ventilasjonsluften og 200 mm gulvisolasjon. U-verdi for vinduer er 1,2 W/m²K.

- Varme- og effektbehov: 5400 kWh, ca. 30 W/m²
- Maksimal overflatetemperatur på gulvet: 23,5 °C
- Grunnflate for gulv på grunnen: 85 m².

Lett lavtemperatur gulvkonstruksjon uten bruk av betong:
Tilleggsvarmetap fra gulvvarmeanlegget mot grunnen i vinterhalvåret:

Normal vanntemperatur
 $5,0 \cdot 85 = 425 \text{ kWh}$ (se fig. 8.1)

Spesielt lav vanntemperatur
 $1,7 \cdot 85 = 145 \text{ kWh}$

Varmestrålingen fra gulvet gjør det i dette tilfellet med høyisolerte glassruter mulig å senke romlufttemperaturen med ca. 2,0 °C fra 22 °C til 20 °C.

Energigevinst ved 2,0 °C temperatursenkning

Transmisjon	530 kWh
Ventilasjon/infiltrasjon (Varmegjenvinner $\eta = 70 \%$)	420 kWh
SUM	950 kWh

Samlet energigevinst ved bruk av gulvvarme:

Normal vanntemperatur: 36 °C

$950 - 425 = 525 \text{ kWh}$

Spesielt lav vanntemperatur: 30 °C

$950 - 145 = 805 \text{ kWh}$

Potensiell energibesparelse som kan oppnås ved å kunne senke romlufttemperaturen vil være avhengig av varmeanleggets evne til å utnytte lave vanntemperaturer og vil ligge i området 10 – 15 % av samlet varmebehov til romoppvarming og ventilasjon.

Et lett gulvvarmeanlegg uten betong har relativt liten varmetreghet ($\leq 15 \text{ min.}$) som sikrer god temperaturregulering. Gulvvarmeanlegget bør utformes så det kan utnytte lave vanntemperaturer $\leq 30 \text{ °C}$.

