

Energieffektive varmeanlegg med vannbåren lavtemperaturvarme

For å sikre energifleksibilitet og god utnyttelse av alternative energikilder er det viktig at vannbårene varmeanlegg kan utnytte turtemperaturer under dimensjonerende forhold i området 30 – 40°C. Den høyeste temperaturen kan være aktuell i områder med meget lave utelufttemperaturer. Varmeanleggets evne til å utnytte lave vanntemperaturer og samtidig sikre godt inn klima med lavest mulig lufttemperatur, er en nødvendig forutsetning for å oppnå god energieffektivitet. Artikkelen viser at riktige utførte vannbårene lavtemperaturanlegg er spesielt gunstige både når det gjelder energieffektivitet og godt inn klima.

Av siv.ing. Per Gundersen, Byggforsk

Når det i den senere tid i rapporter og artikler påpekes at vannbåren gulvvarme ofte fører til betydelig økning (30 prosent) av energiforbruket, må dette skyldes forhold som har med oppbygningen og bruken av selve gulvvarmeanlegget å gjøre og ikke strålevarmesystemet som prinsipp.

Energieffektivitet

Skal vannbårene varmeanlegg, og da spesielt gulvvarme, kunne utnytte lave vanntemperaturer og samtidig være energieffektive bør følgende kriterier være oppfylt:

- Lavt varmetap og dermed varmebehov (godt isolert klimaskjerm og da spesielt gulv og vinduer, varmegjenvinning av ventilasjonsluften)
- Bruk av store heteflater (gulv, vegger, tak)
- Effektiv individuell varme-regulering (varmeanlegg med liten termisk treghet)
- Materialsjikt i gulvoverflaten bør ha lav termisk diffusivitet (lav varmelednings-eвне og varmekapasitet)
- Varmemotstanden for materialene over varmerørene må være lav
- Temperaturfordelingen over heteflaten må være god
- Varmerørene må ha ledende kontakt med godt varmeledende materiale

Skal gulvvarmeanlegget gi godt inn klima med lavest mulig lufttemperatur, må bygningen har lavt varmebehov uten kuldebroer slik at man kan holde relativt lav overflatetemperatur på gulvoverflaten.

Temperaturforhold

For å kunne utnytte lave vanntemperaturer til oppvarming må varmeanlegget ha store heteflater samtidig som varmemotstanden fra varmerørene til heteflatens overflate må være minst mulig.

Ideell overflatetemperatur for gulv for personer med lett innendørs fottøy er 23°C med akseptabelt variasjonsområde 21 - 26°C. For barn som har mye av sin aktivitet på gulvet vil gulvtemperaturer under 22°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. Ved strålevarmesystemer av typen gulv-, tak- og veggvarme øker midlere strålingstemperatur for rommet. Dette må kompen-

seres gjennom senket lufttemperatur. Lufttemperaturen må da senkes en grad for hver grad økning i midlere strålingstemperatur. Med en godt isolert klimaskjerm vil det med bruk av gulvvarme i prinsippet være mulig å senke lufttemperaturen med ca. 2,0 K, fra 22 til 20°C. For å kunne oppnå denne temperatursenkningen må det spesielt stilles strenge krav til vinduene som er den bygningsdel som har størst varmetap. For å unngå kaldras for vinduer med høyde < 1,5 m bør glassrutene ha U-verdi i størrelsesorden 1,0 – 1,2 W/m²K (klimaavhengig). Utviklingen av vinduer har i dag kommet langt slik at man også for tolags vinduer kan komme ned i U-verdi for glasset på ca. 1,0 W/m²K.

Inneklima

I tillegg til energibesparelse vil man ved å senke innelufttemperaturen få høyere relativ fuktighet. Man oppnår dermed bedre fukt komfort og reduserer problemet med tørre slimhinner på grunn av tørr inneluft ved lave uteluft temperaturer. Et økende problem på grunn av krav om større tilførsel av friskluft. Lave lufttemperaturer vil også redusere avgassing fra materialer. Forhold som er av stor betydning for å sikre godt inn klima. I prinsippet bør det derfor være mulig å ta ut betydelige energigevinster med bruk av strålevarmesystemer da man kan holde lave lufttemperaturer uten at dette går på bekostning av varmekomforten. Energigevinsten oppnås på grunn av redusert transmisjons- og ventilasjonstap.

Energi- og effektbehov

Lavenergi boligen figur 1 har noe lavere U-verdi (1,2 W/m²K) for vinduene enn forskriftenes krav (1,6 W/m²K) samtidig som det er brukt behovstyrt ventilasjon med var-

Om forfatteren

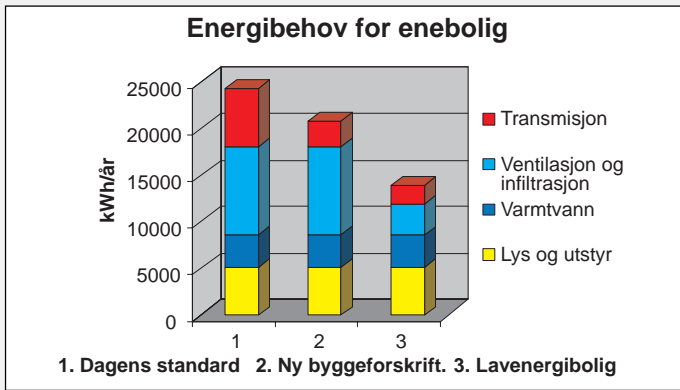


Siv.ing. Per Gundersen er ansatt ved Norges Byggforskningsinstitutt hvor han de siste årene spesielt har arbeidet med å utvikle gulvvarmeløsninger for lavtemperaturboliger bygget etter de nye byggeforskriftene. Han fikk Gullpennen '98 for beste fagartikkel i Norsk VVS i 1997, og dette er en oppfølgingsartikkel basert på nye resultater som er fremkommet i de pågående prosjektene.

megjenvinning av avtrekksluften. Årlig energibehov til romoppvarming reduseres da i referanseboligen [1] 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 kW eller 55 til ca. 30 W/m² gulvflate, se figur 2.

Varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegg

Figur 3 viser omhyllingskurver for varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegg. Nedre kurven viser beregnet varmeavgivelse ved naturlig konveksjon og stråling og bør brukes når bare deler av gulvets omhyllingsflater er kalde. Den øvre kurven er fastlagt ved målinger i laboratoriet og fremkommer ved avkjøling av vegger og tak og tilsvarer kurven brukt som nominell verdi i ny standard PrEn-1264 for bestemmelse av ▶



Figur 1. viser samlet årlig forbruk av kjøpt energi for en enebolig (138 m² Oslo klima) isolert etter normal utførelse før innføring av ny byggeforskrift, ny byggeforskrift og lavenergibolig med bedre vinduer og varmegjenvinning av avtrekksluften.

► varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegg. Med et dimensjonerende effektbehov på 30 W/m², vil det være tilstrekkelig med en øvre overflatetemperatur på gulvet på 23–24°C. Altså nær en ideell overflatetemperatur for gulv. Et varmebehov på 55 W/m² krever maksimal overflatetemperatur på ca. 26°C.

Varmeanlegg i gulv på grunnen

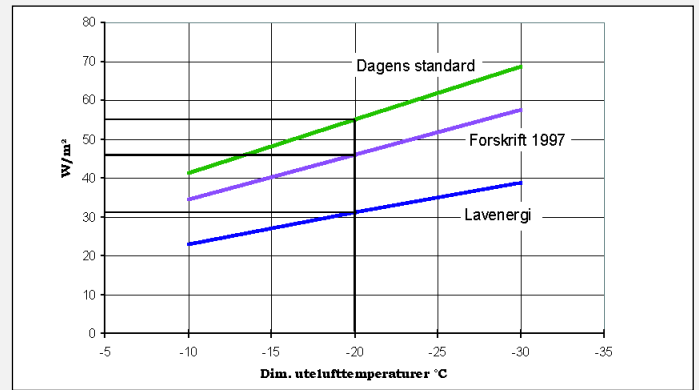
Ny byggeforskrift angir U-verdi for gulvet på 0,15 W/m²K. Det betyr for boliger i normal størrelse (grunnflate ca. 100 m²) isolasjonstykkelse på ca. 200 mm. Hvis varmeanlegget er montert i gulv på grunnen, vil dette gi økt varmetap fra gulvet til grunnen i forhold til gulv uten gulvvarme.

Varmetap

Figur 4 viser eksempel på tem-

peraturer gulvkonstruksjonen kan ha over året mot gulvisolasjonen med bruk av gulvvarme for forskjellige utførelser av gulvkonstruksjonen. Normalt vil temperaturen mot gulvisolasjonen være høyere enn overflatetemperaturen på gulvet. Det skyldes større varmemotstand for materialene over enn under varmerørene. For baderom med betong og fliser vil maksimal overflatetemperatur ligge på ca. 30°C. Til gjengjeld vil denne temperaturen være nær konstant over hele året.

Figur 5 viser spesifikt varmetap fra gulv på grunnen (ca. 100 m² grunnflate) med og uten gulvvarme. Det er forutsatt i figur 5 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



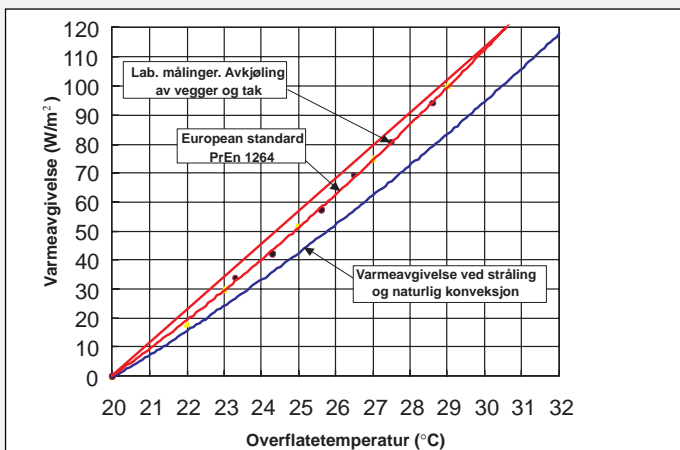
Figur 2. Effektbehov for romoppvarming for referansebolig (138 m² Oslo klima) isolert etter dagens standard (før innføring av ny byggeforskrift), ny byggeforskrift og lavenergibolig.

brukt gulvvarme. Lavere varmetap fra gulvet i sommerhalvåret har normalt ingen betydning for energibehovet til oppvarming. Dette forutsetter at gulvutførelsen er slik at varmeanlegget bare settes i drift når det er et reelt varmebehov. Vi har da valgt å se bort fra tilleggs varmetap 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 (1). Man vil da i større grad kunne utnytte varme magasinert i grunnen, figur 5.

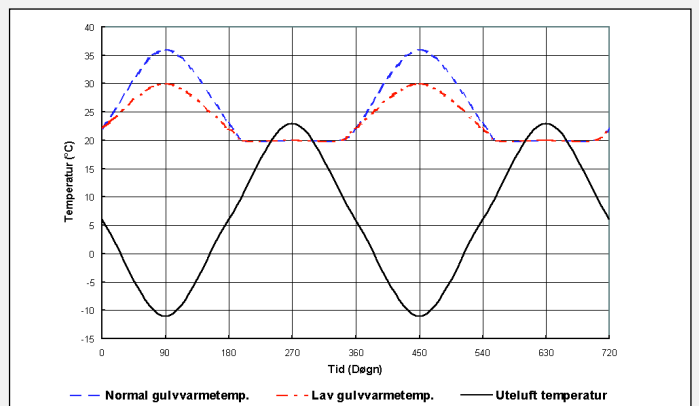
Gulvvarme og alternative varmeanlegg

Det fremgår av figur 5 at varmetapet fra gulv med gulvvarme under dimensjonerende forhold omtrent er dobbelt så stort som varmetapet uten bruk av gulvvarme. Gjennomsnitt-

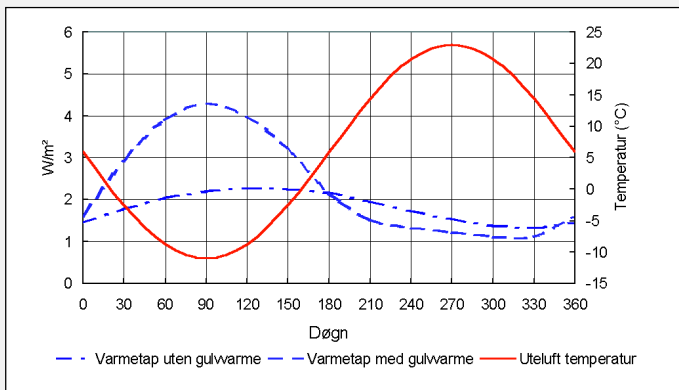
lig varmetap til grunnen fra gulvflaten med gulvvarme og 200 mm gulvisolasjon, er ca. 4,3 W/m² under dimensjonerende forhold. En yttervegg med 200 mm tykk isolasjon (U-verdi 0,22 W/m²K) uten veggvarme vil har et spesifikt varmetap på 8,8 W/m² eller det dobbelte av gulvet med gulvvarme. Tak mot kaldt loft med ca. 300 mm isolasjon (U-verdi 0,15 W/m²K) har tilsvarende spesifikt varmetap på 6,0 W/m²K. 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 noe oppvarmet. Overtemperaturer på klimaskjermen vil



Figur 3. Omhyllingskurver for varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegg som funksjon av midlere temperatur på gulvoverflaten. Romlufttemperaturen er 20°C.



Figur 4. Eksempel på temperaturforhold mot gulvisolasjonen ved bruk av gulvvarme, normal- og lavtemperaturanlegg. Det er inntegnet laveste femdøgns middeltemperaturer for Oslo der dimensjonerende frostmengde er 25000 h°C og årsmiddeltemperatur 6,0°C.



Figur 5. 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)

bidra til å øke transmisjonstapet. Det er derfor ikke helt korrekt å snakke om 100 prosent virkningsgrad av varmeanlegg plassert på yttervegger. Bare når varmeanleggene er plassert på innervegger vil all varme nyttiggjøres til romoppvarming. En plassering av varmeanlegg på innervegger er mulig hvis det brukes høyisolerte vinduer som eliminerer kaldras.

Ovner og kaminer plasseres gjerne i tilknytning til innervegger og har høy overflatetemperatur. Når avstanden fra ovnen blir noen meter vil romvinkelen mellom ovn og person bli liten (stråleenergien 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 både til å heve gulvtemperaturen og til å minske strålingsasymmetrien generert av yttervegger og vinduer. Resultatet er vil være økt ventilasjons- og transmisjonstap og dårligere inneklimate.

Energitap og gulvisolasjon

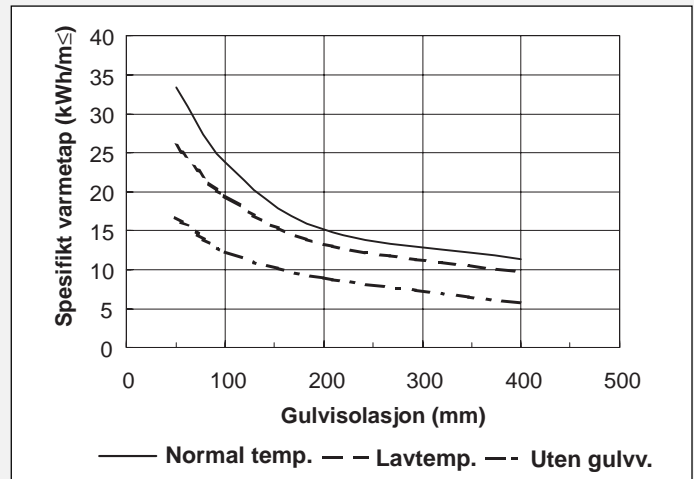
Figur 6 viser varmetapet fra gulvvarmeanlegget til grunnen over fyringssesongen som funksjon av gulvets isolasjonstykkel. Som for en hver annen isolert konstruksjon avtar

effekten av å øke isolasjonstykkel med isolasjonstykkel. Ny byggeforskrift angir U-verdi for gulv på grunnen på 0,15 W/m²K som betyr isolasjonstykkel på 200 mm. Figur 6 viser at man oppnår relativt liten reduksjon i varmetapet ved å øke isolasjonstykkel utover 200 mm. 200 mm isolasjonstykkel vil derfor også være tilfredsstillende for gulv med gulvvarme. Avhengig av utførelsen, vil økt energitap fra gulvvarmeanlegget til grunnen ligge i området 3 – 8 prosent av samlet varmeavgivelse fra varmeanlegget.

Temperaturnivå

En måte å redusere varmetapet er å utføre gulvkonstruksjonen slik at man bruker lavest mulige vanntemperaturer. Lave vanntemperaturer vil redusere overtemperaturen mot gulvisolasjonen og dermed varmetapet mot grunnen. Figur 6 viser varmetapet over fyringssesongen når gjennomsnittlige temperaturer over gulvflaten (ca. 100 m²) mot isolasjonslaget under dimensjonerende forhold er henholdsvis 36°C og 30°C, se figur 4. Laveste femdøgns middeltemperaturer for Oslo er brukt som dimensjonerende for beregningene.

Figur 6 viser at økningen i varmetapet over fyringssesongen med bruk av gulvvarme ligger mellom 60 og 100 prosent. Med 50 mm tykk gulvisolasjon vil spesifikt varmetap fra gulv med gulvvarme økes



Figur 6. Varmetap fra gulv på grunnen over fyringssesongen med og uten gulvvarme.

fra 17 til 34 kWh/m². For en bolig med gulvvarme og grunnflate 100 m² vil tilleggsvarmetapet ligge på 1700 kWh som tilsvarer halve varmtvannsforbruket. Med mindre tykkelsen på gulvisolasjonen er 100 mm, bør det generelt frarådes å bruke gulvvarme for gulv på grunnen. Det kan da være en mer energioekonomisk løsning å bruke gulv- eller takvarme i et mellombjelkelag.

Temperaturregulering Varmetregnet

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

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

c = materialets volumetriske varmekapasitet (kJ/m³K)

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 fli-

ser på betonggulv. Overflatens beskaffenhet er derfor av stor betydning for hvordan man opplever gulvvarmeanlegget. Det viser seg at i praksis at hvis man har en gulvoverflate som føles kald ved berøring 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 betydelig økt energiforbruk.

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 de forskjellige sjikt være av avgjørende betydning for gulvets varmetreghet og muligheten for å utnytte lave vanntemperaturer. Tabell 1 gir oversikt over forskjellige materialers varmeledningsevne, varmekapasitet og temperaturledningsevne. Varmeledningsevnen for gipsplater ligger på det dobbelte av trematerialer samtidig som det fremstilles gulvgipsplater med stor stivhet. Begge egenskaper er fordelaktige i gulv med gulvvarme. Kontinuerlige temperaturnivå i gipsplater bør ikke være høyere enn 45°C. Da gulvgipsplater er vesentlig tyngre enn vanlige gipsplater, vil disse platene øke gulvets varmetreghet. Gulvgipsplater ▶

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	$9058 \cdot 10^{-8}$

Tabell 1. Forskjellige materialers termiske egenskaper.

► bør derfor bare brukes i kombinasjon med tynne gulvbelegg.

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 2 viser sammenliknbare beregninger av varmeavgivelse, maksimal overflatetemperatur, temperaturdifferanse på gulvoverflaten og gulvets varmetregthet for forskjellig gulvoppbygging. Beregningene forutsetter en kontinuerlig vannetemperatur på ca. 40°C, og det er ikke regnet med varmeovergangsmotstand mellom materiallagene. På grunn av begrenset effektivitet ved bruk av lavtemperaturvarme, vil gulvvarmeanleggets reelle varmetregthet for vannrør i betong være vesentlig høyere enn gulvkonstruksjonens karakteristiske oppvarmingstid, tids-

konstant (ca. 63 prosent av full varmeavgivelse) som angitt i tabellen.

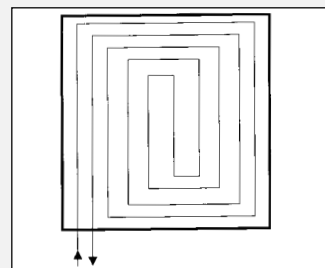
Røravstand

Av tabell 2 fremgår det at røravstanden er en viktig parameter som påvirker gulvets termiske tregthet, varmfordeling og dermed også gulvets varmeavgivelse. Man kan til en viss grad kompensere for en økt røravstand ved å øke tykkelsen på Al-platen. På grunn av aluminiums 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 varmetregthet og kostnader da aluminium er relativt kostbart materiale. 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.

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 [2]. 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 figur 7. Da varmerørene er relativt stive, spesielt ved lave temperaturer, er det en fordel at rørene vesentlig 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 el. kan varmeavgivelsen fra gulvet i de tildekkede områdene bli noe redusert. Det betyr mindre avkjøling av vannet i rørene i disse områdene. Man vil sam-



Figur 7. Spiralmønster der tur- og returrøret legges ved siden av hverandre gir tilfredsstillende temperaturfordeling i lavtemperaturanlegg og enkel rørlegging da rørene vesentlig legges med stor krumningsradius.

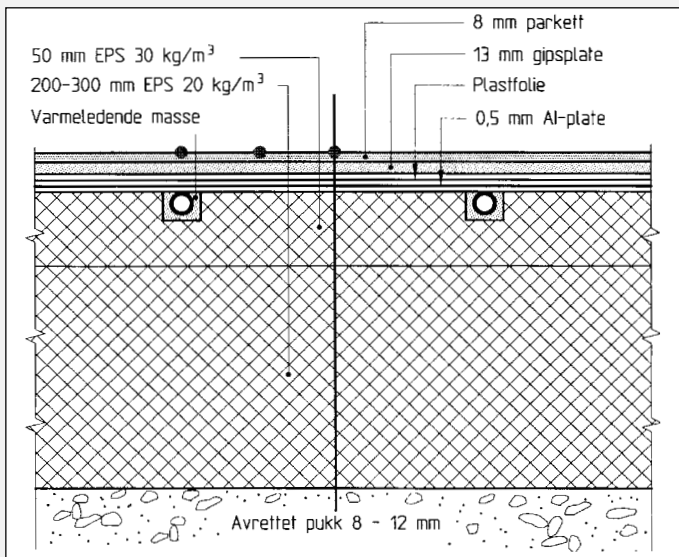
tidig få høyere vannetemperatur i returledningen i de deler av gulvet som ikke er dekket. Høyere temperatur i returledningen vil kunne kompensere noe for redusert varmeavgivelse i tildekket område. For rom med beskjedne varmebehov og tilsvarende lave overflatetemperaturer vil det være mindre kritisk hvis deler av heteflatten tildekkes. Det er da bare snakk om mindre justering av turtemperaturen uten at man risikerer lokalt for høye gulvtemperaturer.

Gulvoppbyggingen figur 8, består av 200 mm tykk isolasjon, 0,5 mm tykk aluminiumsplate, 0,2 mm plastfolie, 13 mm gulvgips og 8 mm parkett. Varmerørene er utført i plast (PEX) og har en avstand på 200 mm. Varmerørene er lagt i spor i gulvisolasjonen. Det er brukt sparkelmasse rundt rørene for å sikre direkte ledende kontakt med overliggende Al-plate.

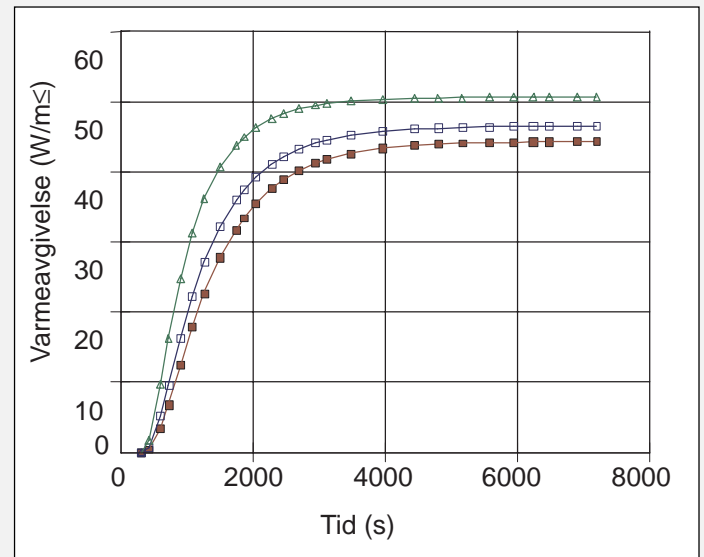
Karakteristisk oppvarmingstid (tidskonstant) for gulvkonstruksjonen figur 8, vil i dette tilfellet ligge på ca. 1000 s eller 16 minutter, figur 9. Det betyr i praksis at gulvet meget effektivt kan reguleres med enkel romtermostat som for elektriske panelovner. For lavtemperatur varmeanlegg er det ikke nødvendig med uteluftkompensering av turtemperaturen. Man kan kjøre anlegget med tilnærmet konstant turtemperatur over hele fyringssesongen med på/avregulering uten å få problemer med høye gulvtemperaturer. Dette

Gulvoppbygging	Røravstand mm	Δt (°C) Temp. Diff. Overfl.	Maks. Overflate-temp (°C)	Tidskonstant (min.)	Varmeavgivelse 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
» »	200	0,4	26,0	15	48,8
0,5 mm Al	300	1,6	25,9	26	40,8
» »	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/vegg-gips, 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

Tabell 2. Sammenlignbare varmetekniske forhold for forskjellig gulvoppbygging. Tidskonstanten (ca. 63 prosent av full varmeavgivelse) som er angitt for gulvet, er beregnet under oppvarming med konstant vannetemperatur ca. 40°C



Figur 8 viser eksempel på en lett utførelse av gulv på grunnen med gulvvarme. Plastfolien kan evt. legges mellom isolasjonslagene.



Figur 9. Oppvarmingsforløp. Spesifikk varmeavgivelse fra et punkt på gulvoverflaten direkte over røret og mellom rørene, se figur 8. Øvre kurve angir varmeavgivelsen fra gulvoverflaten direkte over varmerøret. Det er forutsatt konstant vanntemperatur 40°C.

forenkler varmesystemet og materialvalget i overbyggingen.

Tidskonstanten for gulvvarmeanlegg med vannrør innstøpt i betong vil øke betydelig med økt betongtykkelse. Når man samtidig tar hensyn til at effekttilgangen for et lavtemperatur varmeanlegg er begrenset, vil det være snakk om timer. Et gulvvarmeanlegg med tidskonstant på flere timer vil kunne skape problemer for temperaturreguleringen i rom med hurtig skiftede varmebehov. Med mindre man har et

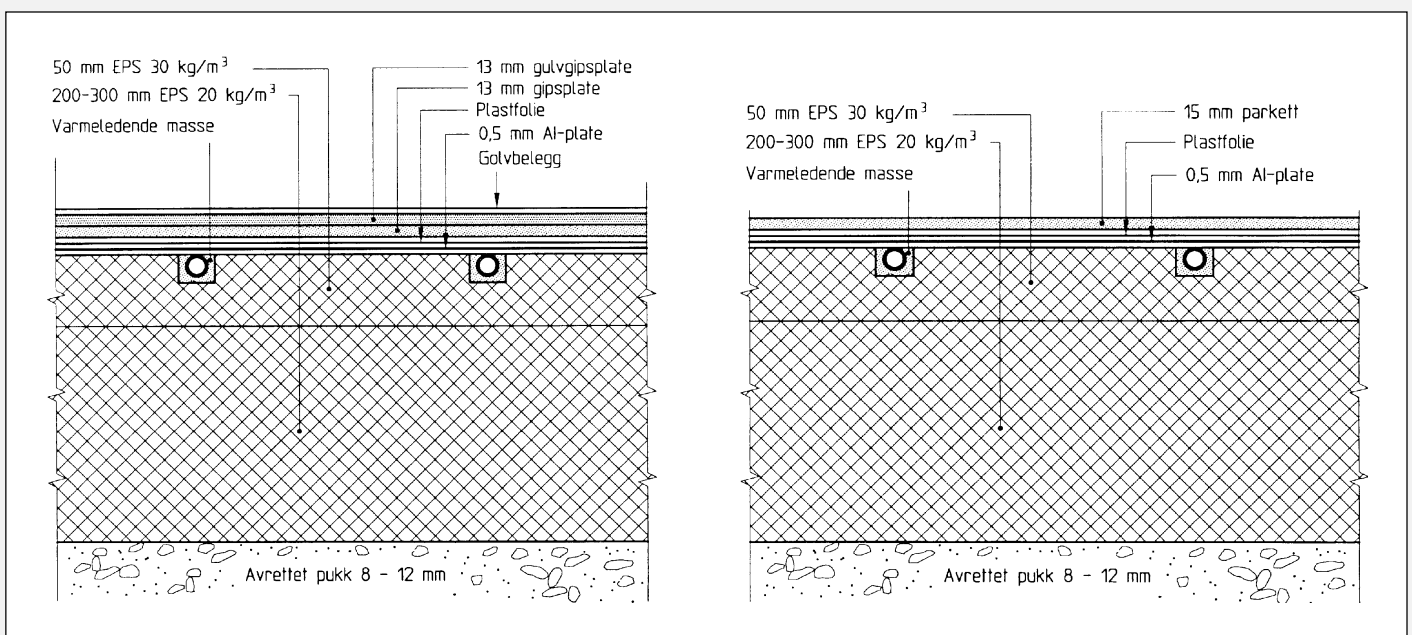
ekstremt lavt varmebehov eller ønsker permanent høy overflatemperatur (baderom), viser praksis at gulvarmeanlegg med varmerør innstøpt i betong har liten sjanse til å bli vellykket i energiøkonomisk henseende.

Gulvoppbygging Stabilitet og stivhet

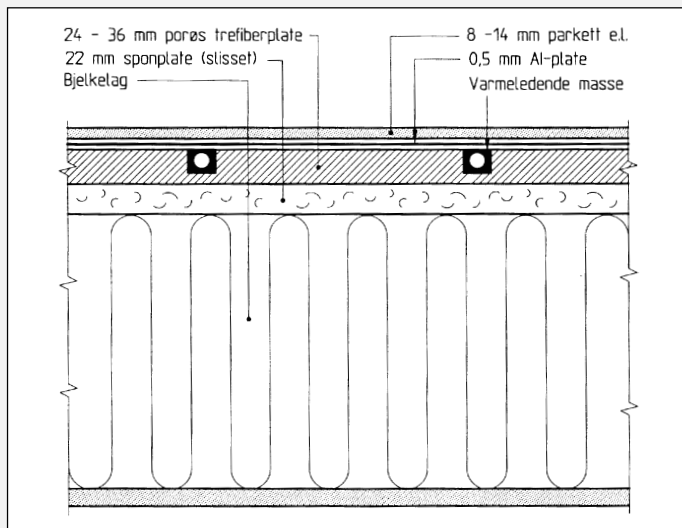
Materialvalget i gulvvarmekonstruksjoner må i tillegg til termiske egenskaper også tilfredsstillende generelle krav til stabilitet og stivhet. Der er derfor viktig å finne kompromiss

som total sett best oppfyller de funksjonskrav som må stilles til en gulvkonstruksjonen som samtidig skal tjene som varmeanlegg. En gulvoppbygging med flere tynne materialsjikt vil kunne gi god stivhet hvis lagene limes sammen. Nå vil det være underlagets stivhet som setter krav til overbygningen. Ved å kombinere forskjellige materialsjikt vil termiske og fukttekniske egenskaper være bestemmende om lagene kan limes sammen. En kombinasjon av 13 mm gipsplate og 8 mm parkett som legges flyten-

de eller limes til gipsplaten vil kunne gi gulvet en viss egen-tyngde. Forhold som kan bidra til å gjøre gulvet mer dødt og dermed eliminere mindre initialdeformasjoner som gjerne vil være tilstede for lette flytende gulvkonstruksjoner. Størrelsen på initialdeformasjoner vil være direkte avhengig av underlagets planhet. Initialdeformasjoner kommer i tillegg til den mer lastavhengige nedbøyningen. Normalt vil flytende gulv med lett overbygging «sette seg» etter en tid slik at initialdeformasjoner opphø-



Figur 10. Lette flytende gulvkonstruksjoner med gulvvarme.



Figur 11. Eksempel på gulvarmeanlegg i mellombjelkelag. Konstruksjonen tilfredsstillende nye krav til trinnlydisisolasjon.

rer. Erfaring tilsier at akseptabel maksimal nedbøyning for flytende gulv for 1 kN punktlast, bør ligge mellom 1,5 – 2 mm. Også lastutbredelsen fra punktlast vil her kunne spille en rolle. I praksis viser det seg ofte at det vil være kravet til gulvbelegg som setter grensen for akseptabel nedbøyning og planhet. Når det gjelder komfort og bruksforhold vil man normalt kunne tåle noe større nedbøyninger. Generelt vil flytende gulv gi forbedret trinnlydisisolasjon og gangbehagelighet i forhold til underlag av betong eller sparkel.

Gulv på grunnen

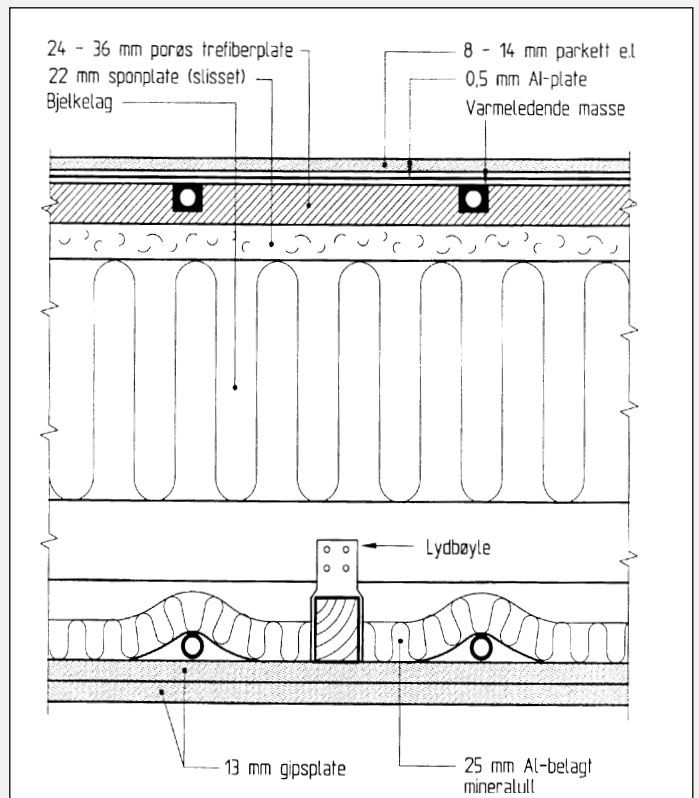
Figur 8 og 10 viser eksempler på lette flytende gulvkonstruksjoner med gulvvarme. Felles for de viste gulvkonstruksjonene er at varmerørene er lagt i spor i isolasjonsplaten og det er brukt godt varmeledende sparkelmasse rundt rørene. Aluminiumsplaten som har tykkelse 0,5 mm sørger for varmefordelingen og dekker hele gulvflaten. Under forutsetning god ledende kontakt med rørene, vil dette gi meget god varmefordeling over hele gulvflaten. Man er ikke bare avhengig av rette rørstrekk som ved bruk av såkalte Ω -plater. Det er samtidig produksjonsteknisk enklere å lage sporene for varmerørene i isolasjonen etter at disse er lagt. Man følger da vanlig produksjonsprosedyre for lette gulvkonstruksjoner. Til å lage sporene i isolasjonen bruker

man et utstyr med elektrisk glødetråd. Varmerørene festes med en type plastklammer med mothaker som presses ned i isolasjonen.

For å kunne utnytte lavest mulige vanntemperaturer og samtidig oppnå optimal varmeavgivelse er viktig at temperaturfordelingen over gulvflaten er mest mulig homogen, se tabell 2. Homogene temperaturforhold over gulvoverflaten oppnås når avkjølingen av vannet over i de enkelte rørsøyfene er liten. Lavt varmebehov i de enkelte rom gjør det ofte unødvendig å bruke flere delkurser i hvert rom. På grunn av beskjeden vannstrømning kan man bruke lengere rørlengder og allikevel holde moderate trykktap. Dette er viktig slik at man kan bruke en mindre og dermed mer energieffektiv og stillestående sirkulasjonspumpe. Det bør ikke være noe problem i lavenergiboliger under stasjonære forhold å holde temperaturforskjeller på gulvoverflaten innen en grense på $\pm 1^\circ\text{C}$.

Varmeanlegg i mellombjelkelag

Plassering av lavtemperaturvarmeanlegg i mellombjelkelag i form av gulv- eller takvarme er en energieffektiv løsning i forhold til varmeanlegg i gulv på grunnen eller mot det fri. For øvrig vil samme kriterier gjelde for å oppnå god energieffektivitet som for gulvvarme i gulv på grunnen. Gulvvarme-



Figur 12. «Energibjelkelag» med gulv- og takvarme kombinert med trinn- og luftlydisisolasjon.

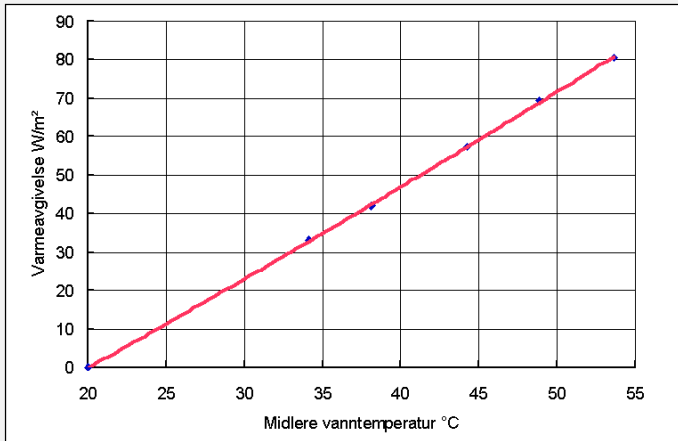
anlegg i mellombjelkelag utføres derfor i prinsippet som for gulv på grunnen. Det betyr lett flytende gulvutførelse uten bruk av betong. Dette vil i prinsippet være samme løsning som brukes for å sikre god trinnlydisisolasjon. Både ved bruk av betongdekker eller lette trebjelkelag krever ny byggeforskrift ekstra trinnlydisisolasjon i etasjeskillere mellom leiligheter eller hybler. God trinnlydisisolasjon i mellombjelkelag anbefales for øvrig i alle boliger og spesielt når man har soverom i underetasjen. Gulvutførelsen med gulvvarme i mellombjelkelag kan utføres på flere måter. Figur 11 viser en løsning der det er frest ut spor for varmerør i 36 mm tykk porøs trefiberplate. Man kan også bruke tre 12 mm porøse trefiberplater som er limt sammen. Rundt varmerørene er det som for gulv på grunnen brukt sparkelmasse og 0,5 mm Al-plate som sikrer god varmefordeling. Porøse trefiberplater er så stive at man kan legge 8 mm eller 15 mm parkett direkte over Al-platen. Gulvkonstruksjonen tilfredsstillende nye krav til trinnlydisisolasjon. Ved bruk av 8 mm par-

kett over vannrørene kan man utnytte vanntemperaturer helt ned mot 30°C . Samtidig vil gulvet ha meget liten varmetreghet. Begge egenskaper gjør utførelsen rimelig og meget energieffektiv.

I stedet for trefiberplater kan man også bruke mineralull trinnlydismatter. Det er imidlertid noe mer komplisert å lage spor i mineralullplater for varmerørene samtidig som platene er relativt myke. Det kreves derfor kantunderstøttelse og noe stivere gulvplater. Kombinasjonen 13 mm gipsplate sammen med 8 mm parkett vil også i dette tilfellet gi tilfredsstillende stivhet.

Hvis man av en eller annen grunn ikke oppnår tilfredsstillende tykkelse på gulvisolasjon bør man i stedet for gulvvarme vurdere å bruke takvarme, se figur 12. For bygninger med lavt varmebehov er takvarme i mellombjelkelag en god løsning. På grunn av mindre konvektiv varmeutveksling fra tak- i forhold til gulvvarmeanlegg må det brukes noe høyere overflatetemperaturer på taket for å oppnå samme effektavgivelse. Begrens-

Forts. side 40.



Figur 13. Varmeavgivelse fra lette gulvvarmeanlegg. Lufttemperaturen er 20°C.

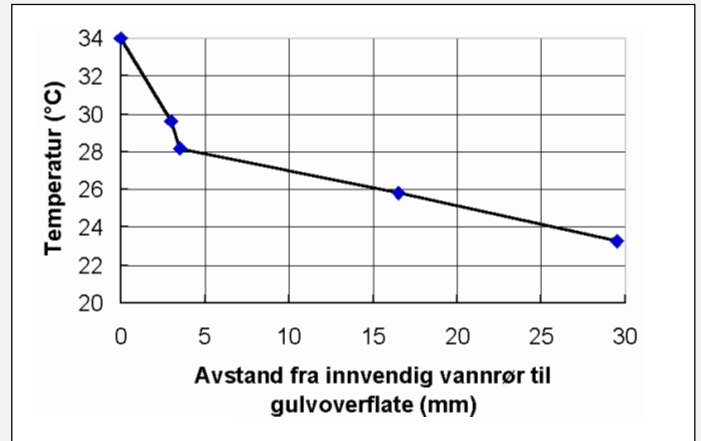
Forts. fra side 38.

ningen i effektavgivelse med bruk av takvarme vil være bestemt av midlere overflatetemperatur på taket som ikke må overstige 30°C. Dette svarer til varmeavgivelse på 60 W/m², mens lavenergiboliger vil ha et varmebehov på 30 – 35 W/m². Bruk av takvarme vil også heve gulvtemperaturen. Bruk av takvarme i mellombjelkelag i lavenergiboliger vil derfor gi et meget godt innneklima. Økt

transmisjonstap i gulv på grunnkonstruksjoner elimineres samtidig som man kan senke temperaturen på romluften med ca. 2,0°C. Takvarme i tak som inngår i klimaskjermen vil gi vesentlig større varmetap enn varmeanlegg i gulv på grunnen og bør derfor unngås.

Måleresultater

Figur 13 viser varmeavgivelsen fra gulv med to gulvgipsplater målt i laboratoriet. Gipsplatene er ikke limt sammen.



Figur 14. Data fra målinger av temperaturgradient fra varmerør til gulvoverflate. Det er brukt to 13 mm gipsplater over Al-palten, figur 10. Som varmeledende masse rundt varmerøret er det brukt en blanding av gips og kvartssand. Man kan også bruke en blanding av sement og finsand. Varmeavgivelsen ca. 34 W/m² og lufttemperaturen 20°C.

Varmeavgivelsen fra de øvrige lette gulvkonstruksjonene vist på figur 7 og 9 vil ligge i samme størrelsesorden.

Av figur 13 fremgår det at med et varmebehov på 30 – 35 W/m² er tilstrekkelig med milde vanntemperatur på 35°C. Figur 14 viser eksempel fra målinger av temperaturgradienten fra varmerørene til gulv-

overflaten. Gulvet er bygget opp med to 13 mm gulvgipsplater. Varmeavgivelsen i det viste tilfellet er ca. 34 W/m², temperaturen på gulvoverflaten er 23,3°C, vanntemperaturen ca. 34°C og lufttemperaturen 20,0°C. Det fremgår her at man har et temperaturtap på 4,4°C fra vannet til kontaktflaten mot Al-platen. Det skyldes

Ønsker du å følge med på hva som skjer innen VVS-bransjen?

Prøv
VVS-bransjens
møteplass
på
internett

På nettet vil du blant annet finne:

- De siste nyheter fra VVS-bransjen
- Fagartikler
- Et bibliotek som inneholder bransjens bedrifter
- e-postkatalog
- Stilling ledig
- Informasjon om VVS-DAGENE, 7-10 oktober, Sjølyst og mye mye mer....

DU FINNER OSS PÅ:
<http://vvs-nett.skarland.no>

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 8 mm parkett	0,171	5,8/10,3
13 mm gipsplate og 8 mm parkett	0,119	4,0/7,1
15 mm parkett	0,125	4,3/7,5
8 mm parkett	0,067	2,3/4,0
22 mm Sponplate/parkett	0,183	6,2/11,0

Tabell 3. Varmestrømsmotstand og temperaturtap for forskjellige overbygninger over Al-platen. Varmeavgivelsen er 34 og 60 W/m².

dårlig varmeovergang fra rør-overflaten til Al-platen og bruk av små plastrør (17 x 2 mm PEX-rør). PEX materialer har relativt lav varmeledningsevne, 0,36 W/mK. 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. Temperaturtapet over rørveggen må derfor regnes som en systemkonstant. For å unngå at temperaturtapet øker ytterligere er det viktig å øke sikre god ledende kontakt mellom sparkelmassen og røret og sparkelmassen og Al-platen. Temperaturfallet fra Al-platen til gulvoverflaten ligger på ca. 4,9°C. Dette viser at det også er noe varmeovergangsmotstand mellom de forskjellige lagene. Målingene er utført uten at gipsplatene er limt sammen.

Tabell 3 viser varmemotstand og temperaturtap for forskjellige overbygninger over Al-platen. Det er forutsatt varmeavgivelse 34 og 60 W/m². Skal man bruke lave vann-temperaturer må varmebehovet og varmemotstanden være så lav som praktisk mulig uten at det går utover gulvets mekaniske egenskaper. Alle temperaturdifferanser i varmelegget vil være tilnærmet proporsjonale med varmebehovet. Bruk av overbygning med mer bærende egenskaper som 22 mm sponplate eller 22 mm parkett over varmerørene, krever høye vann-temperaturer og vil samtidig gi vesentlig varmetregere

gulv. Tykke bærende plater over varmerørene er derfor ikke forenlig med de kriterier som er lagt til grunn for lav-temperatur varmeanlegg.

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 varmelegget (50 mm betong med varmerør og 15 mm parkett).

Tilleggsvarmetap fra gulvvarmeanlegget for gulv på grunnen i vinterhalvåret:

$$5,8 \cdot 85 = 493 \text{ kWh (se figur 6)}$$

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

Samlet potensiell energigevinst ved bruk av gulvvarme:

$$\text{Temperatursenkning: } 1,0^\circ\text{C}$$

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

$$\text{Temperatursenkning: } 2,0^\circ\text{C}$$

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

Forts. neste side.

Eks. 1. 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

Forts. fra foreg. side

Avhengig av temperatursenkningen vil energibesparelsen ligge mellom 4 - 12 prosent av samlet varmebehov.

Et gulvvarmeanlegg med vannrør innstøpt i 50 - 100 mm tykt betonggulv er varmetregt (> 2 timer). Stor termisk treghet kombinert med lav vanntemperatur (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 varmeanleggets 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

Eks. 2. Energigevinst ved 2,0°C temperatursenkning

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

- Grunnflate for gulv på grunnen: 85 m².

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

Normal vanntemperatur

$$5,0 \cdot 85 = 425 \text{ kWh (se figur 6)}$$

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.

Samlet energigevinst ved bruk av gulvvarme:

Normal vanntemperatur: 36°C

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

Spesielt lav vanntemperatur: 30°C

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

Energibesparelsen vil være avhengig av varmeanleggets evne til å utnytte lave vanntemperaturer og vil ligge i området 10 - 15 prosent av samlet varmebehov.

Et lett gulvvarmeanlegg uten betong har relativt liten varmetreghet (15 - 20 min.) som sikrer god temperaturregulering. Gulvvarmeanlegget kan utnytte lave temperaturer $\leq 35^\circ\text{C}$.

Konklusjon

Artikkelen viser at energifleksible løsninger basert på vannbårne lavtemperatur varmeanlegg kan gjøres meget energieffektive. Eksempelene viser at det med strålevarmeanlegg bør være mulig å oppnå energibesparelser i størrelsesorden 4 - 15 prosent i forhold til varmeovner plassert under vinduer. Det er da tatt hensyn til økt varmetap fra gulvvarme i gulv på grunnen. 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°C). I tillegg til energibesparelsen man oppnår ved å senke innelufttemperaturen, vil lavere lufttemperatur i vinterhalvåret gi høyere relativ fuktighet og dermed bedre fukt komfort og mindre avgassing fra materialer.

Hvis varmeanlegget plasseres i mellombjelkelag (gulv/takvarme), kan all avgitt varme utnyttes uten tap. Maksimal potensiell energibesparelse for den aktuelle lavenergiboligen med beskjedent varmebehov vil da kunne komme opp mot 18 prosent.

En nødvendig forutsetning for å kunne senke lufttemperaturen og nå disse besparel-

sene er at boligen har lavt varmetap. Det innebærer bl.a. 200 mm gulvisolasjon for gulv på grunnen med gulvvarme og glassruter med lav U-verdi $\leq 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ for å unngå kaldras. Videre forutsettes at varmeanlegget ikke brukes utenfor fyringssesongen. Gulvoverflaten må derfor være av en slik beskaffenhet at den ikke oppfattes spesielt kaldt i temperaturområdet 20 - 22°C. Samtidig forutsettes meget god temperaturkontroll. God temperaturkontroll kan for eksempel oppnås ved å bruke lette flytende gulvkonstruksjoner uten betong. Varmetregheten for denne typen gulv tilsier at gulvvarmeanlegg kan styres med individuelle romtermostater som elektriske varmeovner. Man kan samtidig kjøre varmeanlegget med konstant lav turtemperatur. Dermed reduseres muligheten for overoppheting og man får enkel anleggsoppbygging med reduserte kostnader. 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.

Referanser

[1] Per Gundersen 1994:

Rimelige lavenergiboliger med rasjonelle installasjoner. NBI Prosjektrapport 196

[2] NBI Byggdetaljer 1991. A 552.111 Vannbåren golvvarme

[3] NBI Byggdetaljer 1992. G 421.505 Krav til innerklimaet

[4] Per Gundersen 1994:

Rimelige lavenergiboliger. Gulv på grunnen, forsøksbygging. NBI Prosjektrapport 167