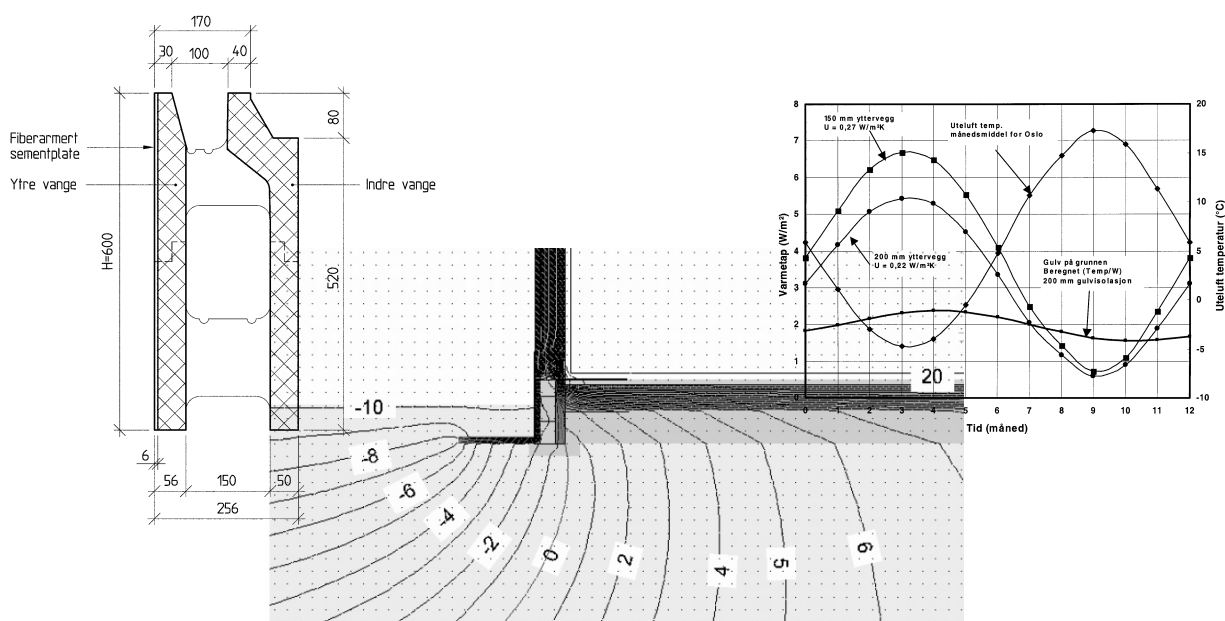


Per Gundersen, Jan Vincent Thue og
Kim Robert Lisø

Nye løsninger for varmeisoler- ling og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur



BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Per Gundersen, Jan Vincent Thue og
Kim Robert Lisø

Nye løsninger for varmeisoler- ing og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur

Prosjektrapport 370 – 2004

Prosjektrapport 370

Per Gundersen, Jan Vincent Thue og Kim Robert Lisø

**Nye løsninger for varmeisolering og frostsikring av
gulv på grunnen med ringmur**

Emneord:

klimatilpasning, klimapåkjenning, gulv på grunnen, ringmur,
varmeisolasjon, varmegjennomgang, frostsikring, kuldebro,
beregning

ISSN 0801-6461

ISBN 82-536-0835-7

200 eks. trykt av

AIT e-dit

Innmat: 120 g NP

Omslag: 170 g Cyclus

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2004

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

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

Adr.: Forskningsveien 3 B

Postboks 123 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.byggforsk.no

Hovedsamarbeidspartnere

Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Norges forskningsråd, Husbanken, Statens bygningstekniske etat (BE), Finansnæringens Hovedorganisasjon (FNH), Statsbygg, Undervisningsbygg Oslo KF, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Bransjepartnere

Selmer Skanska AS, Jotun A/S, Optiroc AS, A/S Rockwool, Brødr. Sunde as, Glava A/S, Jackon AS, Icopal as, Isola as, Protan A/S, Moelven ByggModul AS, Scandiaconsult AS, Interconsult ASA, Aadnesen as, Dr. Techn. Kristoffer Apeland A/S, Isolitt as, Vartdal Plastindustri AS, Løvolds Industri AS

Norske fagmiljøer

Arkitektthøgskolen i Oslo (AHO), Meteorologisk institutt, Norges landbrukshøgskole (NLH), CICERO Senter for klimaforskning, Riksantikvaren, Standard Norge

Bransjeforeninger

Byggenæringens Landsforening (BNL), Isolasjonsprodusentenes forening (IPF), Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF), Boligprodusentenes Forening, Byggevareindustriens forening, Norges byggmesterforbund, Ventilasjons- og blikkenslagerbedriftenes landsforbund (VBL), Plastindustrifondet (PIF)

Forord

Denne rapporten presenterer forslag til nye løsninger og retningslinjer for varmeisolering og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur. Det presenterte arbeidet skal benyttes som underlag for utarbeidelse av en ny NBI Anvisning om varmeisolering og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur.

Arbeidet er utført innenfor prosjekt 7 *Varmeisolering og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur*. Prosjektet er en del av FoU-programmet *Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner*.

Programmets hovedmål er gjennom forskning og utvikling å oppdatere prinsippløsninger for konstruksjoner som både gir økt bestandighet mot og økt pålitelighet ved ytre klimapåkjenninger, samt kartlegge mulige virkninger av klimaendringer på det bygde miljø - og hvordan samfunnet best kan tilpasse seg endringene. Hensikten er å definere klarere kriterier og anvisninger for prosjektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer, hovedsakelig knyttet til bygningers ytre klimaskjerm. Det skal i tillegg utvikles retningslinjer for hvordan de ulike aktører i plan- og byggeprosessen kan medvirke til å unngå at en bygning får skader eller ulemper som er forårsaket av fukt.

Programmet er et viktig ledd i arbeidet med utvikling og revisjon av anvisninger i Byggforskserien og produktdokumentasjon i form av tekniske godkjenninger og sertifiseringer. Programmet ledes av Norges byggforskingsinstitutt og gjennomføres i samarbeid med Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Husbanken, Statsbygg, Finansnæringens Hovedorganisasjon (FNH), Undervisningsbygg Oslo KF, Statens bygningstekniske etat (BE), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Norges forskningsråd, samt en rekke andre fagmiljøer og sentrale aktører i byggenæringen. Programmet som ble igangsatt i august 2000, og som vil pågå frem til utgangen av år 2006, består av 14 ulike prosjekter.

I arbeidet med rapporten har det faglige utvalget for prosjekt 7 vært sentrale støttespillere; Scandiaconsult AS, Isolasjonsprodusentenes forening (IPF), Plastindustriforbundet (EPS Bygg-Gruppen), Optiroc AS, Jackon A/S, Brødr. Sunde as, A/S Rockwool, Isolitt as, Vartdal Plastindustri AS, Løvolds Industri AS, Glava A/S, NTNU og BE.

Oslo, mai 2004

Tore Kvande
Programleder
Norges byggforskingsinstitutt

Per Gundersen
Prosjektleder, prosjekt 7
Norges byggforskingsinstitutt

Sammendrag

Gulv på grunnen med ringmur i en eller annen form er i dag en dominerende fundamenteringsmetode for småhusboliger i Norge. Riktig utført har metoden mange fordeler. Samtidig er konstruksjonen energi- og kostnadseffektiv. Skjerpede krav til komfort, lave varmetap og økt bruk av gulvvarme har ført til en betydelig økning av tykkelsen på gulvisolasjonen. I denne sammenheng er det en rekke spørsmål som må avklares. Problemstillingene er knyttet til frostsikring, varmetap, gulvvarme, kuldebroproblematikk, beregningsmetoder og styrke og stivhet. Varmetapet under fyringssesongen fra et godt isolert gulv på grunnen er i dag beskjedent, sammenliknet med andre deler av bygningsskjermen direkte eksponert mot uteluften. Økt tykkelse på gulvisolasjonen, der en samtidig unngår kuldebro i randsonen, er derfor både et spørsmål om komfortisolasjon og et ønske om å redusere varmetapet.

Rapporten presenterer forslag til nye løsninger og retningslinjer for varmeisolering og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur, med spesiell vekt på problemstillinger knyttet til frostinntrengning og ulike frostsikringstiltaks innvirkning på gulvets U-verdi, behovet for revisjon av dagens metode for bestemmelse av varmetap fra gulv på grunnen, samt utfordringer knyttet til utvikling av ringmursløsninger med lavest mulige kuldebroverdier. Eksempler på ulike ringmursløsninger, med angivelse av tilleggsvarmetap som følge av kuldebrovirkning (for ringmurer med og uten frostsikring), er også gitt.

I rapporten er det i tillegg diskutert hvordan forenklete beregninger i prinsippet kan gjennomføres og tilpasses gjeldende tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven. En forenklet metode for bestemmelse av varmetap som kan danne grunnlag for energi- og effektberegninger kan, som vist i rapporten, ta utgangspunkt i stedets årsmiddeltemperatur som klimareferanse.

Varmetapet fra et godt isolert gulv på grunnen er i det vesentligste et randsoneproblem. Gulvets varmeisolerende evne i randsonen bør derfor sikres uavhengig av grunnens varmemotstand og bygningens størrelse. En fastsettelse av grunnens varmemotstand er klima- og stedsbetinget og beheftet med stor usikkerhet. Pukklaget under gulvet eller deler av dette kan for eksempel tjene som vannmagasin og vannvei for overvann. Det kan også være store variasjoner i grunnvannstand og fuktforhold, samt kald trekk i porøse steinfyllinger. Dette kan bidra til at betydelige varmemengder fjernes fra grunnen under gulvet. Disse forholdene er grundig diskutert i rapporten. De fire relativt omfattende internasjonale beregningsstandarder, som alle behandler varmetap fra gulv på grunnen, er også diskutert. Standardene er delvis utviklet med bakgrunn i klimaforhold og isolasjonskrav forskjellig fra våre egne, og er derfor etter vår mening ikke særlig godt egnet for norske forhold.

De presenterte resultatene er basert på parameterstudier av en rekke forskjellige ringmursløsninger, hvor sammenhengen mellom varmetap og frostsikring er forsøkt kartlagt. Resultatene er fremkommet ved bruk av ulike beregningsprogrammer for bestemmelse av todimensjonal ikke-stasjonær varmestrøm med variable materialparametere. Rapporten vil bli benyttet som underlag for utarbeidelse av en ny NBI Anvisning om varmeisolering og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur, hvor forenklete beregningsmetoder og nye løsninger presenteres i sin endelige form.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG.....	4
INNOLD.....	5
1 INNLEDNING.....	7
1.1 FORMÅL OG OMFANG	7
1.2 BAKGRUNN.....	8
1.3 PRESENTASJON AV PROBLEMSTILLINGENE	9
1.3.1 Gjennomsnittlig årlig (nominell) "U-verdi" for gulv på grunnen.....	9
1.3.2 Utilstrekkelige analytiske gjennomsnittsberegninger	10
1.3.3 Klargjøring av kuldebroproblematikken og varmetap i randsonen.....	10
1.3.4 Frostsikring og nye ringmursløsninger.....	11
1.3.5 U-verdier og teknisk forskrift til plan- og bygningsloven	11
1.3.6 Vannbåren lavtemperatur gulvvarme.....	12
1.3.7 Forenklede U-verdi beregninger.....	12
2 GULV PÅ GRUNNEN - BEREGNINGSGRUNNLAG	13
2.1 FORUTSETNINGER	13
2.2 VARMETAP TIL GRUNNEN - BEREGNINGSVERKTØY	15
3 GULV PÅ GRUNNEN – BEREGNINGSEKSEMPLER.....	18
3.1 STASJONÆRE ÅRSGJENNOMSNITTSBEREGNINGER AV VARMETAP	18
3.2 MODIFISERT RINGMURSLØSNING	23
3.3 DYNAMISKE TEMPERATURBEREGNINGER, MARKISOLASJON	35
3.4 GULV PÅ GRUNNEN I FJELLTERRENG	48
4 EFFEKTBREGNINGER.....	51
5 GULVVARME OG VARMETAP	55
6 VURDERING AV BEREGNINGSRESULTATENE.....	67
6.1 VARMEISOLERING OG KULDEBROVIRKNING	67
6.2 FROSTSIKRING	68
6.3 PREFABRIKKERTE RINGMURSLØSNINGER	69
6.4 BRUK AV GULVVARME	73
7 FORSLAG TIL FORENKLET BEREGNINGSPROSEDYRE	75
7.1 GRUNNLAG	75
7.2 EKSEMPEL PÅ FORENKLET BEREGNING	79
8 FROSTSIKRINGSTILTAK	87
8.1 BAKGRUNN.....	87
8.2 RESULTATER FRA TEMP/W BEREGNINGER.....	87
8.2.1 Beregningsgrunnlag.....	87
8.2.2 Utvendig isolert ringmur.....	89
8.2.3 Innvendig isolert ringmur	90
8.2.4 Innvendig og utvendig isolert ringmur.....	90
8.2.5 Fjellgrunn.....	91

9	GULVISOLASJON OG TEK TIL PBL – NOEN TANKER.....	93
9.1	GULV PÅ GRUNNEN UTEN GULVVARME	93
9.1.1	<i>Småhus og mindre bygninger.....</i>	<i>93</i>
9.1.2	<i>Bygninger med større grunnflate</i>	<i>95</i>
9.2	GULV PÅ GRUNNEN MED GULVVARME.....	96
10	SLUTTKOMMENTAR.....	98
	REFERANSER.....	100

1 Innledning

1.1 Formål og omfang

Isolerte gulv lagt direkte på grunnen med ringmur er en fundamenteringsmåte som egner seg godt på flate tomter (Byggforskserien Byggdetaljer 521.011 [1] gir en oversikt over fundamenteringsmetoder for småhus og beskriver forhold som har betydning ved valg av fundamentering). Ved innføringen av gjeldende teknisk forskrift (TEK 1997 [2]) til Plan- og bygningsloven (pbl), ble kravet til største gjennomsnittlige U-verdi for gulv på grunnen skjerpet til $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette gir redusert varmetap til grunnen og ringmurskonstruksjonen får dermed økt risiko for telehiv i telefarlig grunn. Med gulvisolasjonstykkelse lik 200 mm vil varmeavgivelsen fra gulvet til grunnen være meget beskjeden.

I dag finnes det en rekke forskjellige typer ringmurselementer på markedet, både med innvendig og utvendig isolasjon. Det er nødvendig å klarlegge hvilken frostbelastning disse ringmurene tåler, og hvilke tiltak som er nødvendig for å unngå telehiv. Det tenkes da spesielt på bruk av isolasjon under ringmurselementene. Frost i inntreks- og bunnledningen for vann- og avløp kan også skape problemer i jordmasser som ikke er telefarlige. Dersom det ikke iverksettes tiltak for å hindre kuldebrovirkning¹ ved ringmuren også i disse tilfellene, vil en lett kunne få gjennomfrysing av ringmuren. En slik situasjon vil stille større krav til frostsikring av vannledninger og valg av masser innenfor ringmuren.

Nye skjerpede krav til varmeisolasjon og økt komfort i form av gulvvarme gjør det nødvendig å utvikle nye løsninger for fundamentering av gulv på grunnen. I denne sammenheng er det en rekke spørsmål som må avklares. Problemstillingene er knyttet til frostsikring, varmetap, gulvvarme, kuldebroproblematikk, beregningsmetoder og styrke og stivhet.

Det er gjennom arbeidet med prosjektet foretatt en parameterstudie blant annet for å kartlegge sammenhengen mellom varmetap og frostsikring, som igjen er et samspill mellom gulv-, ringmur- og markisolasjon. Det er viktig å utvikle løsninger som i tillegg til mekaniske forhold sikrer god lastoverføring til grunnen og hvor en unngår kuldebroer i randsonen - som kan resultere i lave gulvtemperaturer.

Denne rapporten belyser forhold knyttet til varmeisolering og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur, med spesiell vekt på følgende problemstillinger:

- A Tiltak for å hindre frostinntrengning ved ringmur ved fundamentering på telefarlig grunn. Utarbeide dimensjoneringsstabeller.
- B Tiltak for å hindre gjennomfrysing av ringmur i spesielt kalde perioder, og vurdering av forhold som kan føre til frost i bunnledninger og ledningsoppstikk. Dette er problemer som kan inntreffe både i telefarlig og ikke-telefarlig grunn.
- C Ulike frostsikringstiltaks innvirkning på gulvets U-verdi, og dermed også gulvtemperaturen.

¹ Kuldebro er en del av en bygningskonstruksjon som har vesentlig lavere varmemotstand enn konstruksjonen for øvrig. I slike partier oppstår en lokal, sterk varmestrøm og et ekstra varmetap. I isolerte bygningskonstruksjoner vil kuldebroer bestå av materialer med relativt høy varmekonduktivitet (varmeledningsevne), som f.eks. tegl, betong og metaller. Se Byggforskserien Byggdetaljer 471.015 *Kuldebroer. Vurdering av konsekvenser og dokumentasjon av energibruk*.

- D Behovet for revisjon av metode for bestemmelse av varmetap fra gulv på grunnen (revisjon og forenkling av metode brukt i NS 3031 *Varmeisolering - Beregning av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming og ventilasjon* [3].
- E Bransjepartnerens behov for utvikling av ringmursløsninger med lavest mulige kuldebroverdier (varmetapet pr. lengdeenhet av kuldebroen og pr. grad temperaturforskjell ($W/(mK)$)) samt tilfredsstillende frostsikring, stabilitet og bæreevne.

Arbeidet er utført som en del av prosjekt 7 *Varmeisolering og frostsikring av gulv på grunnen med ringmur* i FoU-programmet *Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner*, se nærmere omtale i Lisø og Kvande et al. [4]. Prosjektet skal bidra til å belyse eller løse forannevnte problemstillinger, samt danne underlag for revisjon av anvisningene for gulv på grunnen med ringmur i Byggforskserien. Hovedresultatene fra studiene som er presentert i denne rapporten er også publisert i [5].

1.2 Bakgrunn

Gulv på grunnen fundamentering må ses i sammenheng med det øvrige bygget, i det utførelsen av koblingen mellom de enkelte bygningsdeler er viktig for å unngå kuldebroer. Dette er ikke minst viktig i overgangen mellom ringmur, gulv og yttervegger – hvor lufttetthet er viktig for å unngå kald trekk på grunn av lokalt undertrykk. Gulv på grunnen er både i varmeteknisk og mekanisk henseende et randsone problem. Det hjelper lite med en tykk gulvisolasjon dersom utførelsen i randsonen ikke er tilfredsstillende. Dette gjelder både små og store bygninger. Veggtykkelsen er en sentral parameter for å kunne unngå kuldebro i overgangen vegg/ringmur/gulv. Det er også viktig å kjenne til de geo- og hydrologiske forholdene på stedet. Dette er forhold som kan endres over tid avhengig av utbyggingsmønster, anlegg av tette flater mv. Det er ikke uvanlig at byggegrunnen både før og etter utbygging inngår som et viktig areal for å sikre områdets vannbalanse. Pukklaget under gulvet benyttes ofte bevisst eller ubevisst som vannmagasin og vannvei for overvann og det er ikke uvanlig med store variasjoner i grunnens fuktforhold. Ventilasjon og intern konveksjon kan også opptre i porøse steinfyllinger. Begge forhold kan ha stor innflytelse på gulvkonstruksjonens termiske egenskaper.

I NS-EN ISO 13370 *Bygningers termiske egenskaper - Varmeoverføring via grunnen - Beregningsmetode* [6] beskrives en forenklet metode for bestemmelse av varmetap fra gulv på grunnen. Denne standarden er meget omfattende, men behandler ikke samspillet mellom varmetap og frostsikring eller kuldebroproblematikken i randsonen. Disse to faktorene er av avgjørende betydning for utførelsen. I standarden tas det etter vår mening ikke tilstrekkelig hensyn til grunnmaterialenes ikke-lineære termiske egenskaper, noe som gjør beregningsresultatene usikre. Standarden må derfor sies å ha relativt begrenset gyldighet. Mer nøyaktige varmetapsbestemmelser vil kreve tilleggsberegninger for å fastlegge innvirkningen av frostsikringstiltak, fuktforhold og kuldebroer.

Store årlige variasjoner og usikkerhet knyttet til grunnmaterialenes egenskaper, tilsier at det bør stilles skjerpede krav til gulvets bygningsmessige isolasjonsstandard *uavhengig* av grunnforholdene. Dette vil sikre gulvkonstruksjonen et lavt varmetap *uavhengig* av grunnforholdene. Samtidig bør det utvikles preakseptable løsninger for å unngå kuldebro i overgangen vegg/ringmur/gulv.

Med dette som bakgrunn bør det være mulig å komme frem til forenklete beregninger som med tilstrekkelig nøyaktighet kan brukes som grunnlag både for energibestemmelser og ved dimensjonering av gulvvarmeanlegg. Det er i denne rapporten antydnet en mulig vei for å oppnå dette.

Det er også viktig i samarbeid med bransjen å utvikle ulike typer gulvløsninger og prefabrikkerte ringmursløsninger som tilfredsstiller nye krav til lave varmetap og god termisk komfort². Samtidig må fundamentets primærfunksjonen ivaretas, med tilfredsstillende styrke og stivhet, stabilitet og lastoverføring til grunnen, uten at det oppstår frost- eller setningsproblemer. Det er ikke minst viktig å utvikle enkle kostnadseffektive løsninger som er gjennomførbare i praksis.

1.3 Presentasjon av problemstillingene

1.3.1 Gjennomsnittlig årlig (nominell) "U-verdi" for gulv på grunnen

U-verdi begrepet er i utgangspunktet definert for stasjonær, endimensjonal varmestrøm. Varmestrømmen gjennom et gulv på grunnen er utpreget flerdimensjonal, og på grunn av høy varmekapasitet i grunnen sterkt tidsavhengig, dvs. ikke-stasjonær. I standarden for beregning av U-verdier, NS-EN ISO 6946 [7], er derfor konstruksjoner mot grunnen utelatt – her vises det til NS-EN ISO 13370.

Den nominelle eller gjennomsnittlige årlige varmegjennomgangskoeffisienten (U-verdien) som er gitt i NS-EN ISO 13370 er basert på en stasjonær gjennomsnittsbetraktning. Den forutsetter en konstant årsmiddeltemperatur som temperaturreferanse i grunnen og uteluften, og er brukt som underlag for anvisningene i Byggforskserien Byggdetaljer 521.111 [8] og 521.112 [9]. En gjennomsnittlig årlig U-verdi kan ikke brukes i tradisjonelle varmetapsberegninger koblet mot månedsmiddeltemperaturer, men må korrigeres for periodisk varmestrøm. Beregningsstandarden angir derfor en relativt omfattende prosedyre for å bestemme tilleggsvarmetapet under vinterforhold. U-verdi begrepet i mer tradisjonell betydning har dermed liten relevans i tilknytning til gulv på grunnen.

Spørsmålet er da hvilken "U-verdi" som er lagt til grunn for angivelsen i teknisk forskrift til plan- og bygningsloven? Kravet til U-verdi for tak og gulv på grunnen er det samme, $0,15 \text{ W/m}^2$, men ved å bruke den nominelle "U-verdien" vil spesifikt varmetap under dimensjonerende forhold være ca. tre ganger høyere for taket enn for gulvet. En metode kan for eksempel være å fastlegge en ekvivalent U-verdi for gulv på grunnen tilsvarende andre konstruksjonselementer i bygningens klimaskjerm. Denne metoden er brukt i NS 3031 *Varmeisolering - Beregning av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming og ventilasjon*. Problemet er at denne U-verdien ikke uten videre kan brukes til effektberegninger. En ekvivalent U-verdi kan, som angitt i NS-EN ISO 13370, prinsipielt bestå av en stasjonær del koblet mot årsmiddeltemperaturen - og en dynamisk del bestemt av kuldebro og randeffekter koblet mot utelufttemperaturen. Når det tas hensyn til grunnens varmemotstand vil det generelt være uheldig å operere med en gjennomsnittlig U-verdi for hele gulvet. Dette kan unngås ved å stille krav til gulvkonstruksjonen uavhengig av grunnens varmemotstand og behandle randsoneproblematikken mer som en kuldebrobetraktning. Det vil også være fornuftig å angi *preaksepterte frostsikre ringmursløsninger* der tilleggsvarmetapet i randsoner er beskjedent.

Det er altså etter vår mening behov for å *rydde opp* i U-verdi begrepet i tilknytning til gulv på grunnen. I dag er det ikke uvanlig å koble den gjennomsnittlige årlige U-verdien for gulv på grunnen direkte mot utelufttemperaturen, som for andre bygningselementer, slik at en får et urealistisk høyt varmetap.

² Termisk komfort (ev. varmekomfort) er en subjektiv følelse eller sinnstilstand der vi er tilfreds med de termiske omgivelsene. Vår termiske komfort er avhengig av bekleddingen, aktivitetsnivået og det termiske inneklimaet. Termisk inneklima er fysiske faktorer i inneklimaet som har innflytelse på vår termiske komfort. Dette inkluderer; lufttemperatur, temperatur på omgivende flater (vegger/vinduer, himling og golv) eller strålingstemperatur (f.eks. termisk strålingsutveksling mellom kroppen og omgivende flater), lufthastighet og luftfuktighet. Fra Byggforskserien Byggdetaljer 421.501.

1.3.2 Utilstrekkelige analytiske gjennomsnittsberegninger

NS-EN ISO 13370 presenterer et relativt omfattende formelverk, basert på Hagentofts doktoravhandling *Heat loss to the ground from a building: slab on the ground and cellar* [10], for å fastsette gjennomsnittlig årlig varmestrøm til grunnen. Den angir også formler for beregning av månedlig varmestrøm. I tillegg er det vist hvordan en kan bestemme gjennomsnittlig varmestrøm over fyringssesongen³. Problemet med analytiske gjennomsnittsberegninger er at det ikke tas tilstrekkelig hensyn kuldebrovirkningen i ringmurtoppen og til ikke-lineære forhold, blant annet knyttet til temperaturavhengige egenskaper for materialene i grunnen. Dette er forhold som har stor betydning ved bestemmelse av randsoneeffekter i kaldt klima, og som er avgjørende ved frostsikring av ringmuren og ved prosjektering av gulvvarmeanlegg.

Trolig i erkjennelse av at NS-EN ISO 13370 er noe uoversiktlig og komplisert å bruke, er det kommet enda en ny beregningsstandard; NS-EN 12831 *Varmesystemer i bygninger - Metode for beregning av dimensjonerende effektbehov* [11]. Denne standarden angir diagram og kurver for å bestemme dimensjonerende varmetap, men uten å ta hensyn til kuldebrovirkninger inkludert markisolasjon. Standarden er ikke tilpasset norske klimaforhold, og stopper ved en isolasjonstykkelse på 150 mm. Den er ikke egnet til å beregne effektbehov ved dimensjonering av gulvvarmeanlegg i Norge.

1.3.3 Klargjøring av kuldebroproblematikken og varmetap i randsonen

Det er viktig å avklare hvilken referansekonstruksjon en skal benytte ved angivelse av en nominell U-verdi, og om det i det hele tatt er hensiktsmessig å knytte en nominell U-verdi beregning til en bestemt referansekonstruksjon slik det er gjort i Byggforskserien Byggdetaljer 521.112 *Golv på grunnen med ringmur for oppvarmede bygninger. Varmeisolering og frostsikring* [9].

Alle gulv på grunnen konstruksjoner vil ha en vesentlig del av varmetapet knyttet til randsonen. Når det gjelder godt isolerte gulv vil denne sonen være begrenset til en avstand lik 0,5 – 1,0 m fra innvendig vegg/liv. I dårlig isolerte gulv vil randsonen kunne ha en bredde på 3 – 4 m. For et godt isolert ringmurselement vil en vesentlig del av varmetapet i randsonen følge mer langsiktige temperatursvingninger. Det vanlige i varmetapsberegninger er å bruke dimensjonerende femdøgns middeltemperaturer som klimareferanse. For mer direkte kuldebroer vil varmetapet også følge hurtigere temperatursvingninger, eksempelvis tredøgns middeltemperaturer. Svillen bør her regnes med som en kuldebro dersom den ligger på samme nivå som gulvoverflaten. Overgangen ringmur/vegg/gulv vil kunne representere en betydelig kuldebro som påvirker gulvtemperaturen i randsonen.

I NS-EN ISO 13370 er det ikke tatt tilstrekkelig hensyn til kuldebroen i randsonen knyttet til veggkonstruksjonen. En kuldebro i ringmurtoppen i overgangen vegg/ringmur/gulvoverflate som tilnærmet følger svingningene i utelufttemperaturen, kan ikke legges til en statisk bestemt nominell U-verdi, slik det gjøres i dag. Kuldebroen i overgang vegg/ringmur/gulvoverflate som påvirker varmetapet i randsonen bør kobles direkte til svingningene i utelufttemperaturen for å kunne gjennomføre reelle effektberegninger som dimensjoneringsgrunnlag for varmeanlegg.

³ Fyringssesongens lengde defineres som den delen av året da det er behov for daglig oppvarming av en bolig. Etter den normerte norske definisjonen begynner fyringssesongen om høsten, når døgnets middeltemperatur synker under + 11°C, og slutter om våren når middeltemperaturen stiger over + 9°C. Forskjellen i temperaturgrensene skyldes at sola bidrar med mer varme når fyringssesongen slutter (f.eks. i mai) enn når den begynner (f.eks. i september). I virkeligheten er fyringssesongen kortere enn den normerte verdi i høyisolerte og tette boliger med lun og solrik beliggenhet. Motsatt er den lengre i dårlig isolerte og utette boliger på lite solrike og værharde steder. Fra Byggforskserien Byggdetaljer 552.103.

Ved enhver dimensjonering er det viktig å komme frem til et resultat som i tilstrekkelig grad er i overensstemmelse med virkeligheten. Bygningskonstruksjonen representerer en helhet, og det er særlig i overgangene mellom bygningselementene en har de største kuldebrovirkningene. I varmetap-/energiberegninger er det derfor viktig å se på den samlede konstruksjonen (klimaskjermen) som en helhet. Det bør derfor generelt foretas kuldebroberegninger for overganger mellom bygningselementer. En dårlig vegg-løsning vil kunne føre til økt varmetap både for gulv og tak. Det er for eksempel vanskelig å unngå en betydelig kuldebro i ringmurtoppen ved bruk av en veggykkelse på 150 mm. For å kunne unngå uheldige løsninger må det utvikles kostnadseffektive konstruksjoner som fungerer i praksis.

1.3.4 Frostsikring og nye ringmursløsninger

For godt isolerte gulvkonstruksjoner på grunnen vil frostsikring i form av markisolasjon normalt være nødvendig i telefarlig grunn. Markisolasjonen vil også ha betydning for gulvets varmetap i randsonen. Markisolasjonens betydning for frostsikring og varmetap i randsonen kan best fastlegges med ikke-stasjonære beregninger der det tas hensyn til innfrysingsvarmen i fuktige jordmaterialer og endringer i jordmaterialenes termiske egenskaper i frosset og ufrosset tilstand. Markisolasjon vil også kunne hindre frost i tilføringsledninger for vann. Det er derfor et spørsmål om en ikke alltid bør bruke noe markisolasjon, uavhengig av materialene i grunnen.

Frostsikringstiltak bør normalt også omfatte sikring mot gjennomfrysning av ringmuren. Dette kan være ønskelig for å unngå frost i bunnledninger. Alternativt må bunnledningene frostsikres spesielt. Frostberegningene må derfor kontrolleres for dette. Dette vil kunne føre til økt tykkelse på ringmursisolasjonen, eventuelt kreve markisolasjon også i ikke-telefarlig grunn. Ved å øke tykkelsen på ytre ringmursisolasjon (EPS-isolasjon) kombinert med markisolasjon, kan en unngå å legge isolasjon under ringmuren ved bruk av et prefabrikkert ringmurselement med en indre og ytre isolasjonsvange. I dette tilfellet vil isolasjon under ringmursfundamentet som krever bruk av trykkfast isolasjon og en nøyaktig avrettet grunn, ha liten innflytelse på varmetapet i randsonen. Bruk av ringmur i betong med en indre og ytre isolasjonsvange er en gunstig kombinasjon når det gjelder å dempe hurtige temperatursvingninger. Dette kan ha betydning når det gjelder å redusere kuldebrovirkningen i ringmurtoppen.

Den nye internasjonale beregningsstandarden for å fastlegge frostsikrings tiltak for gulv på grunnen, NS-EN ISO 13793 *Bygningers termiske egenskaper - Termisk dimensjonering av fundamenter for å unngå telehiv* [12], har satt en begrensning når det gjelder gulvisolasjonens varmemotstand på 5,0 m²K/W. Dette innebærer i praksis at det bare er nødvendig med markisolasjon for frostmengder $\geq 30\,000\text{ h}^\circ\text{C}$. Denne standarden er ikke egnet for dimensjonering av frostsikring i Norge. Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven angir en varmemotstand for gulvisolasjonen som er vesentlig høyere. Det er derfor nødvendig å utarbeide nye retningslinjer for bruk av markisolasjon⁴.

1.3.5 U-verdier og teknisk forskrift til plan- og bygningsloven

Teknisk forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven (pbl) angir en største tillatte, gjennomsnittlige U-verdi lik 0,15 W/m²K for gulv på grunnen (ved innelufttemperatur større enn 20°C). Varmetapet i randsonen vil tilnærmet være den samme for store og små bygninger, men kravet til gulvisolasjon (basert på gjennomsnittlig varmetap) vil være høyst forskjellig. Store bygninger kan tåle betydelige kuldebroer, og dermed lave gulvtemperaturer, i randsonen uten at dette har vesentlig innflytelse på gjennomsnittlig U-verdi og gjennomsnittlig varmetap. Kravet til god komfort, som betinger lavt varmetap uten

⁴ Tabeller og kart med klimadata for landets kommuner (data for frostsikring) er gitt i Byggforskserien Byggdetaljer 451.021 (planlegges revidert i regi av *Klima 2000*).

kuldebro i randsonen, må være det samme for små og store bygninger. Dette bør etter vår mening også reflekteres i tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven.

1.3.6 Vannbåren lavtemperatur gulvvarme

Vannbåren lavtemperatur gulvvarme gir gulv som er meget følsomme for lokale lave gulvtemperaturer (kuldebroer). Utførelsen av randsonen og nøyaktig bestemmelse av varmetapet er derfor viktig.

Er det nødvendig å øke isolasjonstykkelsen ved bruk av gulvvarme, og bør randsonen tilleggisoleres? Som et generelt prinsipp bør varmeanlegg som plasseres i klimaskjermen ikke føre til økt varmetap. Dette kan betinge noe tilleggisolasjon. Her vil oppbyggingen av gulvkonstruksjonen være avgjørende. Det bør generelt velges løsninger som sikrer at en kan kjøre varmeanlegget med lavest mulige vanntemperaturer, og dermed lave temperaturer på heteplatene. Det betyr at gulvets bærende elementer, som har stor varmemotstand, må ligge under varmerør og varmfordelingssjikt. Også rørføringer for vannbårne varmeanlegg bør endres. I stedet for først å tilføre varmt vann til randsonen, kan restvarmen i rørrettet brukes til å kompensere for lave temperaturer i randsonen. Alternativt kan en bruke et lett flytende gulvvarmeanlegg over og isolert fra den kalde gulvoverflaten.

For at gulvvarmeanlegget skal avgi varme til rommet, må overflatetemperaturen på gulvet naturligvis ligge over innelufttemperaturen. En kuldebro i randsonen vil kunne redusere overflatetemperaturen betydelig. Dette er meget uheldig, da gulvvarmeanlegget også skal bidra til å unngå kaldras og strålingsasymmetri fra kalde vegger og vindusflater.

1.3.7 Forenklede U-verdi beregninger

Beregningsstandarden (NS-EN ISO 13370) for bestemmelse av varmetap fra gulv på grunnen bygger som nevnt på meget forenklede og ideelle forutsetninger. Bruk av beregningsstandarden kan dermed, sammenlignet med virkelige forhold, være beheftet med betydelig unøyaktighet. Et spørsmålet er da om det med samme krav til nøyaktighet er mulig å utvikle en vesentlig enklere varmetapsberegning for nye, godt isolerte gulv på grunnen konstruksjoner. Da varmetapet fra et godt isolert gulv på grunnen vesentlig er et randsoneproblem, bør gulvets varmeisolerende evne i randsonen via beregningsmetoden sikres, fortrinnsvis uavhengig av grunnens varmemotstand og bygningens størrelse.

I klartekst innebærer dette at det må stilles krav til gulvkonstruksjonens varmemotstand på linje med andre bygningselementer i klimaskjermen (vegger og tak), uavhengig av grunnens varmemotstand. En fastsettelse av grunnens varmemotstand er klima- og stedsbetinget og beheftet med stor usikkerhet. Pukklaget under gulvet eller deler av dette kan for eksempel tjene som vannmagasin og vannvei for overvann. Det kan også være store variasjoner i grunnvannstand og fuktforhold og kald trekk i porøse steinfyllinger. Dette kan bidra til at betydelige varmemengder fjernes fra grunnen under gulvet.

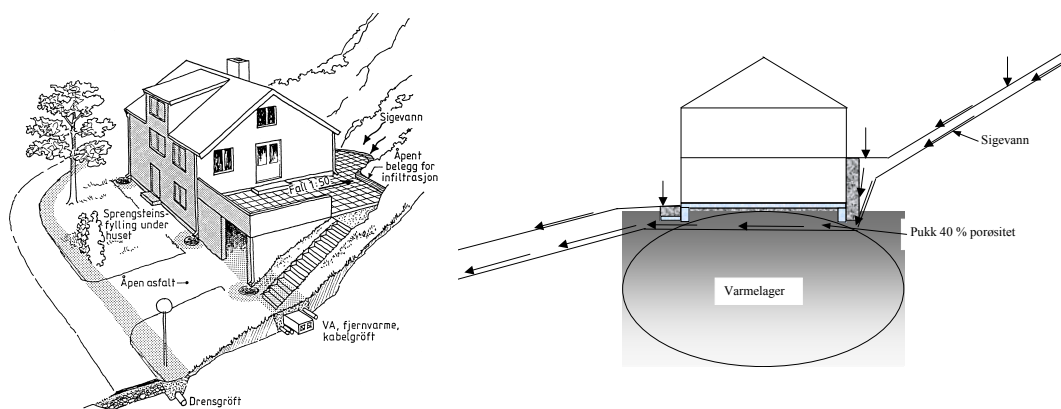
Aktuelle parametere i en forenklet U-verdiberegning er tykkelse på gulv- og ringmursisolasjon og tykkelse og bredde på markisolasjon. Hvis grunnens termiske egenskaper ikke primært tas med som varmemotstand for gulvkonstruksjonen vil denne indirekte kunne inngå som element i klimabelastningen som er med på å fastlegge jordtemperaturene under gulvet.

2 Gulv på grunnen - beregningsgrunnlag

2.1 Forutsetninger

I forskriftssammenheng opereres det som nevnt med krav til en gjennomsnittlig U-verdi for hele gulvflaten. Hensikten er at denne U-verdien skal kunne brukes som en referanse for å fastlegge hvor stort varmetap som tillates fra en samlet gulvflate. Varmetapet fra gulvet følger imidlertid ikke samme mønster som andre bygningselementer i klimaskjermen. Samtidig inngår det i U-verdien for gulv på grunnen et bidrag fra grunnens varmemotstand som både er klima og stedsavhengig. Varmetapet fra gulvet er størst i en ytre randsonen og vil avta hurtig innover gulvflaten. I randsonen kan en også ha kuldebrovirkning ved ringmurtoppen i overgangen gulv/vegg som også påvirker gulvets varmetap.

For større bygninger er det tilnærmet endimensjonale temperaturforhold i sentrale deler av gulvet. Jordmaterialene vil virke som isolasjon og over tid bli varmet opp og tjene som et varmemagasin. Det er ikke uvanlig, bevisst eller ubevisst, at pukkmasser med stor porøsitet under gulvisolasjonen tjener som fordrøyningsmagasin og vannvei for overvann, se løsning presentert i Figur 2.1. Løsningen bidrar vesentlig til å dempe presset på avløpsnettet i lavtliggende områder, og kan dermed hindre oversvømmelser. I fundamenter på steinfyllinger kan det opptre kald trekk i grunnen. En kan også få intern konveksjon i porøse materialer under gulvisolasjonen. Dette er forhold som samlet kan føre til at betydelige varmemengder fra grunnen fjernes (noe som ofte er vanskelig å forutsi). Disse forholdene kan ha stor betydning for grunnmaterialenes varmemotstand og temperaturforhold.



Figur 2.1

Vann- og avløpsgrøfter og pukklaget under gulvet tjener som fordrøyningsmagasin og vannvei for overvann (fra Byggforskserien Bygghandbøker 514.115 Lokal overvannshåndtering i boligområder [13]). Vannføring i øvre deler av grunnen vil kunne fjerne varmelager under bygningen.

15 - 20 m nede grunnen vil jordtemperaturen i fri mark være tilnærmet konstant over året og lik årsmiddeltemperaturen på overflaten. For større bygninger vil derfor varmetapet i sentrale deler av gulvet kunne være meget beskjedent. Selv uten gulvisolasjon vil sentrale deler av gulvkonstruksjonen kunne ha en varmemotstand opp mot $10 \text{ m}^2\text{K/W}$, noe som tilsvarer en varmegjennomgangskoeffisient ned mot $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ regnet mot jordtemperaturen. Dersom differansen mellom inne- og utelufttemperaturen brukes som referanse vil samtidig varmegjennomgangskoeffisienten kunne bli mindre enn $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$. Varmetapet i randsonen vil derfor kunne være betydelig uten at dette slår særlig ut på gulvets gjennomsnittlige U-verdi. Når forholdene ellers er like, vil varmetapet i randsonen tilnærmet være det samme for små og store bygninger. Det er derfor uheldig at kravet til isolasjonstykkelse i forskriftssammenheng, basert på gjennomsnittlig U-verdi, er vesentlig forskjellig for små og store bygninger.

Det er generelt uheldig å operere med ulike U-verdier for energi- og effektberegninger (NS 3031). Det er nettopp denne inkonsekvensen som kan skape problemer ved fastsettelsen av riktig varmetap som grunnlag for energi- og effektbestemmelser. Dette vil igjen kunne påvirke utførelsen av ringmuren, tykkelsen på gulvisolasjonen, dimensjoneringen av gulvvarmeanlegget og nødvendig frostsikring av ringmurselementet i kaldt klima. Effektberegninger som grunnlag for fastsettelse av varmebehov krever relativt nøyaktige beregninger av varmetapet og eventuelle kuldebroer i randsonen. Dette er blitt mer aktualisert ved økt bruk av vannbåren lavtemperatur gulvvarme, som er meget følsom for kuldebroer og lave gulvtemperaturer i randsonen.

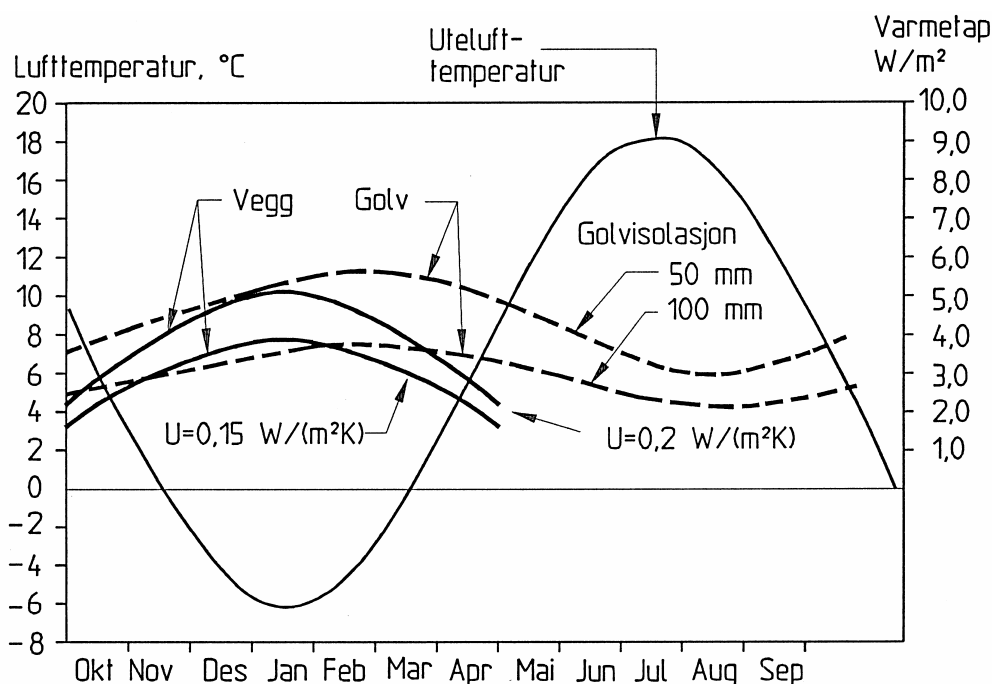
For å forenkle beregning av energibehov og samtidig kunne sammenlikne isolasjonsstandarden for ulike bygningselementer, er U-verdi begrepet i forskriftssammenheng for gulvkonstruksjoner underforstått koblet til forskjellen mellom inne- og utelufttemperaturen. Det er også tilfellet for U-verdi bestemmelsen for gulv på grunn gitt i NS 3031, som er direkte utledet av varmetapsberegninger over fyringssesongen. Dette gir god overensstemmelse ved bruk av gulvvarme, som fortrinnsvis er i drift under fyringssesongen. Beregningsgrunnlaget vil definisjonsmessig gi en god bestemmelse av samlet varmetap over fyringssesongen. Varmetapet over sommerhalvåret vil derimot bli for lite. En har altså i NS 3031 bevisst valgt å se bort fra varmetapet under sommerforhold. Varmetapet utenom fyringssesongen vil øke gulvets samlede varmetap og dermed gulvets gjennomsnittlige nominelle U-verdi.

I motsetning til varmetap for vegger og tak vil varmetapet fra et gulv på grunnen være sammensatt av både dynamiske og tilnærmet stasjonære varmestrømskomponenter. Dette gjør bestemmelsen av varmetapet relativt komplisert. For praktiske forhold er det et klart behov for forenklede regnemetoder. For større bygninger vil jordmaterialene under sentrale deler av gulvflaten over tid varmes opp og inngår dermed som vesentlige bidrag til gulvisolasjonen. Forholdene her er tilnærmet stasjonære over året. I randsonen derimot er forholdene langt mer sammensatte. Her vil ringmuren ha direkte kontakt med uteluften (som en yttervegg) og øvre jordlag med lave temperaturer i vinterhalvåret. I tillegg kan en ha ulike typer kuldebroer i overgangen mellom ringmur og yttervegger.

2.2 Varmetap til grunnen - beregningsverktøy

Gjennom årene har NBI gjennomført en rekke beregninger av varmetap fra gulv på grunnen. Slike beregninger er blant annet benyttet som grunnlag for utarbeidelse av NS 3031 *Varmeisolering - Beregning av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming og ventilasjon*.

Ved gjennomføringen av disse beregningene er det brukt ulike beregningsprogrammer (HEAT2⁵, TODIM [14] og TEMP/W⁶) for bestemmelse av todimensjonal ikke-stasjonær varmestrøm med variable materialparametere. For de to sistnevnte beregningsverktøyene er det også tatt hensyn til innfrysingsvarmen for ulike jordarter, se Figur 2.2 og Figur 2.3, forhold som vesentlig vil dempe temperatursvingningene i fuktig grunn i kaldt klima.



Figur 2.2

Gjennomsnittlig varmetap fra en kvadratisk gulvflate med grunnflate ca. 80 m². Som klimagrunnlag er det brukt dimensjonerende femdøgns middeltemperatur for Oslo. Varmetapsberegningene for gulv på grunnen er tilnærmet tredimensjonale. Det betyr at det er tatt hensyn til hjørneeffekter og innfrysingsvarme for fuktige jordmaterialer. Beregningene er utført med dataprogrammet TODIM [14]. Tykkere gulvisolasjon betyr større utjevning av varmetapet over året.

Beregningsresultatene viser at med økende krav til redusert varmetap fra gulvet, og dermed større isolasjonstykkelser, vil varmetapet jevnnes ut over året. Det er mindre forskjell på gjennomsnittlig varmetap over gulvflaten under sommer og vinterforhold. I praksis betyr det at varmetapet i randsonen, som for dårlig isolerte gulv utgjorde over halve varmetapet fra gulvet, får redusert betydning for det gjennomsnittlige varmetapet. Dette forutsetter en godt isolert ringmur og bruk av markisolasjon for å dempe temperatursvingningene i randsonen.

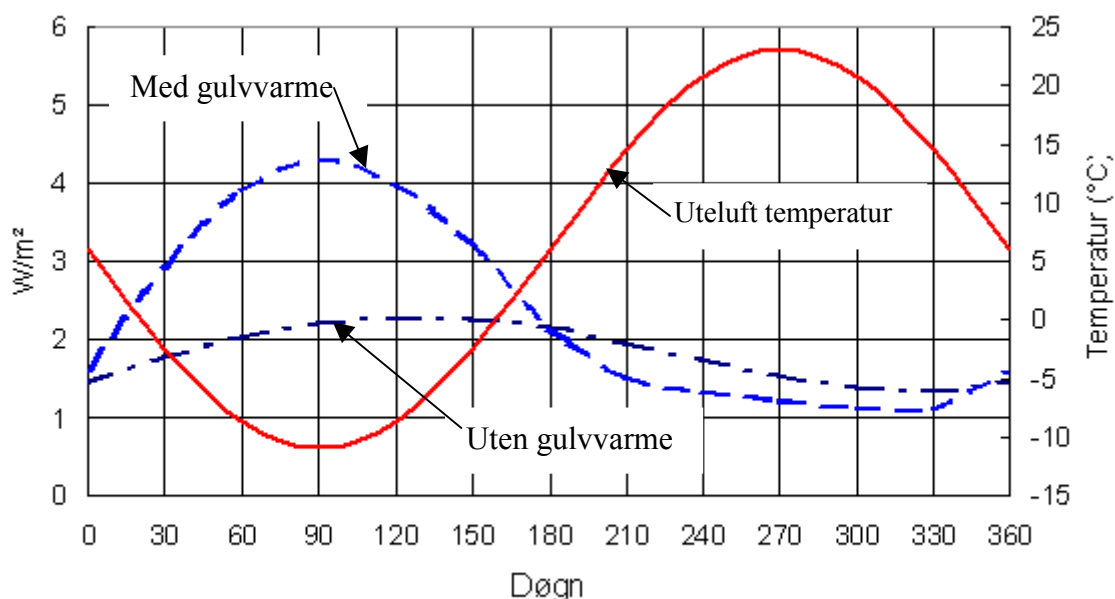
For større bygg vil dette bli enda mer markert idet randsonen effekten bare har relativt lokal påvirkning på golvtemperaturene, og dermed liten innflytelse på golvets samlede varmetap og gjennomsnittlige U-verdi. Imidlertid vil en underisolering i randsonen kunne føre til lave

⁵ Utviklet av Lund Group for Computational Building Physics, Dept. of Building Physics, Lund University, Sweden.

⁶ Utviklet av GEO-SLOPE International, Ltd.

gulvtemperaturer og generelt dårlig inneklima for rom plassert i randsonen. Beregning av varmetap fra godt isolerte gulv på grunnen er derfor i prinsippet et randsoneproblem og tilnærmet uavhengig av byggets størrelse.

En viktig forutsetning for å kunne redusere varmetapet i vinterhalvåret er å utnytte grunnens store varmekapasitet til å jevne ut temperatursvingningene over året. Dette kan oppnås ved å bruke en god ringmursisolasjon som også hindrer kuldebroer i ringmurtoppen. Bruk av markisolasjon bidrar også effektivt til å dempe temperatursvingningene i grunnen i randsonen. Dette oppnås blant annet ved å utnytte innfrysingsvarmen i fuktige jordmaterialer. Også i fjellgrunn vil en normalt ha noe løsmasser over fjellet som inneholder fuktighet. Samtidig vil en få en faseforskyvning når det gjelder maksimalt varmetap, som også bidrar til en viss utjevning av bygningens varmebehov. Som vi skal se vil bruk av markisolasjon generelt, uavhengig av jordmaterialene, bidra effektivt til å redusere varmetapet i randsonen.



Figur 2.3

Spesifikt gjennomsnittlig varmetap over året fra gulv på grunnen med og uten gulvvarme. Det er brukt 200 mm gulvisolasjon og boligen er isolert etter gjeldende teknisk forskrift til plan- og bygningsloven. Beregningene er todimensjonale og gjelder for en lang smal bygning. (Dimensjonerende femdøgns middeltemperatur i en 30-års periode for Oslo er lagt til grunn for beregningene. Husbredde ca 10 m.) Varmeanlegget er bare i drift under fyringssesongen [15]

Når det gjelder mulighet for kuldebro i ringmurtoppen vil denne ikke bare være avhengig av ringmursisolasjonen som primær kuldebrobryter. Normalt vil en ha et lokalt undertrykk inne i bygningen i overgangssonen ringmur/vegg/gulv i forhold til lufttrykket utenfor bygningen. En kuldebro i randsonen kan skyldes utilstrekkelig varmeisolering, ofte i kombinasjon med en luftlekkasje som fører til inntrengning av kald luft som vil kjøle ned gulvkonstruksjonen. Det er derfor av avgjørende betydning å legge inn en kuldebrobryter og samtidig sikre god lufttetthet. Samlet effekt av kuldebro og luftlekkasjer vil lokalt kunne gi meget lave overflatetemperaturer.

En kuldebro i overgangen ringmur/vegg/gulv vil for godt isolerte gulv på grunnen ha relativt begrenset utbredelse og dermed liten betydning for gulvets samlede varmetap (noe avhengig av gulvoppbyggingen). For større bygninger med oppvarmede rom lokalisert i randsonen vil det være nødvendig med egne beregninger for å fastlegge dimensjonerende varmetap fra gulvkonstruksjonen. Det betyr at effektberegninger for rom i randsonen må kobles sammen med beregning av tilleggswarmetap for kuldebroer, og altså ikke baseres på gjennomsnittlige U-verdier.

For vanlige småhus vil en ha en faseforskyvning når det gjelder maksimale samlede varmetap fra gulvet i forhold til utelufttemperaturen på ca. en måned, se Figur 2.3. Ved fyringssesongens slutt i april/mai måned vil varmetapet fra gulvet være over 90% av dimensjonerende varmetap. På dette tidspunktet vil sentrale deler av gulvet ha de laveste temperaturene da faseforskyvningen her kan være opp mot et halvt år. Dette kompenseres ofte ved større tilgang på passiv solvarme. For bygninger med gulvvarme i gulv på grunnen som eneste varmekilde vil varmetapet i større grad følge utelufttemperaturen, med en faseforskyvning som vil kunne ligge i størrelsesorden *døgn*. På grunn av opplagret varme i grunnen under fyringssesongen med bruk av gulvvarme, vil varmetapet under sommerforhold normalt være noe lavere enn uten bruk av gulvvarme.

For mindre småhus med husbredder inntil 10 m vil varmestrømmen under huset være tredimensjonal. For bygg med større grunnflater vil sentrale deler av gulvet tilnærmet ha endimensjonal varmestrøm og dermed nær konstant varmetap over året. Dette forutsetter imidlertid at pukklaget under gulvet ikke benyttes som magasin og vannvei for overvann, noe som vil kunne fjerne betydelig varmemengder. Lavest varmetap fra gulvet, og dermed de høyeste gulvtemperaturene, vil en ha i september når fyringssesongen starter. Dette forsterkes ytterligere i de tilfellene der rommene er direkte eksponert for soloppvarming i sommerhalvåret.

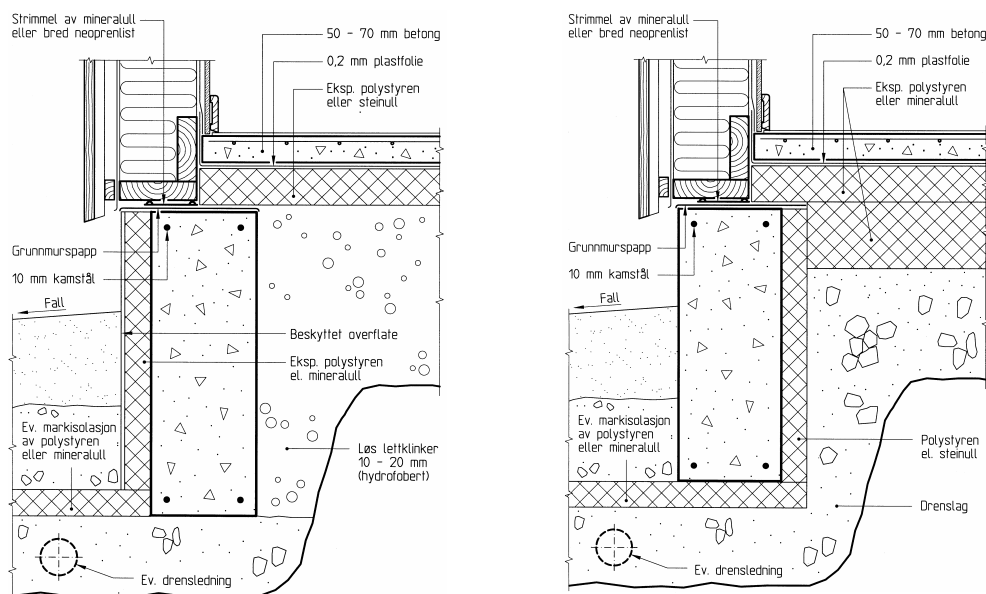
Hurtige svingninger i lufttemperaturen har relativt liten innflytelse på midlere varmetap fra gulvet. Det har derfor vært vanlig å bruke dimensjonerende fem døgns middeltemperatur til U-verdi- og frostberegninger. Det er da brukt år med maksimal frostmengde som referanse-klima. Kuldebroer i randsonen påvirkes imidlertid av hurtige temperatursvingninger i utelufttemperaturen. Dette kan også føre til en gjennomfrysing av ringmuren. Frost-sikkerhetsberegningene bør derfor også gjennomføres under mer ekstreme temperaturforhold, for eksempel ved bruk av dimensjonerende tredøgns middeltemperatur. Dette er også viktig med tanke på dimensjonering av varmeanleggene i de enkelte rom eller soner. En god kuldebrobryter i ringmurtoppen, gjerne kombinert med en overbygning over gulvisolasjonen med lav varmeledningsevne (sponplate eller isolasjonsbetong), vil effektivt kunne dempe innflytelsen av kortvarige lave utelufttemperaturer på gulvtemperaturen, se Figur 6.2.

En godt isolert ringmur uten kuldebro i ringmurtoppen, vil også dempe årlige svingninger i grunnen under gulvisolasjonen. Det vil bare være en relativt smal randsonen en har temperatursvingninger av betydning. Dette vil ytterligere forsterkes med bruk av markisolasjon som vil heve og jevne ut svingningene i jordtemperaturene i randsonen. Når varmetapet fra gulvet jevnes mer ut over året ved økt isolasjonstykkelse og en samtidig unngår kuldebro i randsonen, betyr det også at det er grunnens store varmekapasitet og ikke varmemotstand - som har størst betydning for varmetapet. Det har derfor mindre betydning om det er fjell, sand, grus eller leire i grunnen.

3 Gulv på grunnen – beregningseksempler

3.1 Stasjonære årsgjennomsnittsberegninger av varmetap

Figur 3.1 viser eksempel på en tradisjonell utførelse av gulv på grunnen med bruk av ringmur. Det er her vist en løsning med innvendig og en løsning med utvendig isolasjon av ringmuren. For å unngå kuldebro i randsonen er gulvet trukket noe opp i vegg. Det betyr at en får en noe høyere vegg. For å unngå dette og for å forenkle fundamenteringen er det gjennom årene utviklet ulike varianter av prefabrikkerte ringmursløsninger. En rekke av disse er innehavere av NBI Teknisk Godkjenning [16, 17, 18, 19].

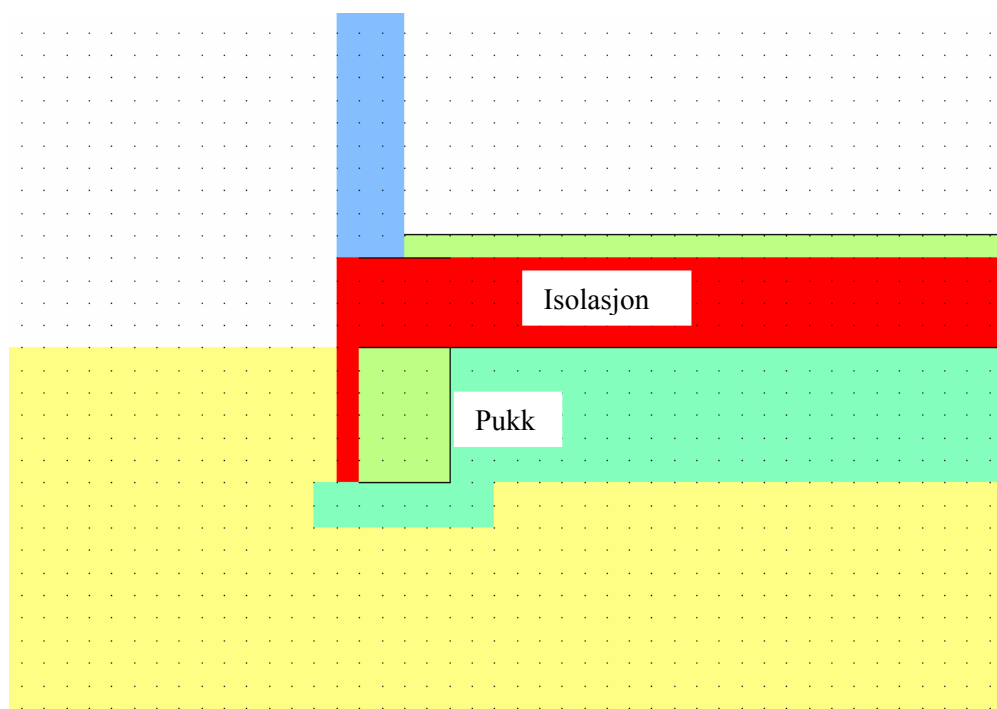


Figur 3.1

Eksempel på gulv på grunnen fundamentering med innvendig og utvendig ringmursisolasjon. Gulvet er trukket noe opp i vegg for å unngå kuldebro i overgangen vegg/ringmur/gulv (fra Byggforskserien Byggdetaljer 521.111 *Golv på grunnen med ringmur. Oppvarmede bygninger. Utførelse*)

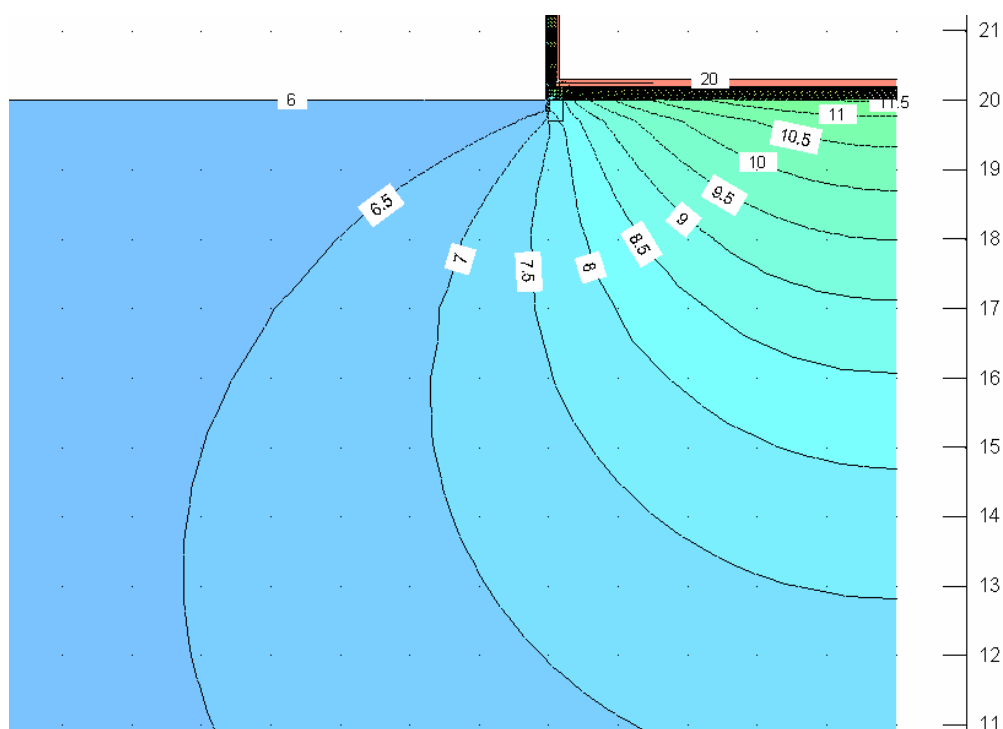
Ved beregning av gjennomsnittlige (nominelle) U-verdier over året for gulv på grunnen etter NS-EN ISO 13370 kan det være hensiktsmessig å ta utgangspunkt i en referanse ringmur uten kuldebro, se Figur 3.2 og Figur 3.3. Det forutsettes her at gulvisolasjonen går uavbrutt gjennom ringmuren. Eventuelt tilleggsvarmetap gjennom kuldebroen i overgang mellom ringmurselementet, vegg- og gulvkonstruksjonen, også fastlagt ved stasjonære beregninger, legges så til gulvets gjennomsnittlige årlige U-verdi. Målet har derfor generelt vært å konstruere et ringmurselement der tilleggsvarmetapet er så lite som mulig.

Figur 3.3 viser temperaturforholdene i grunnen for referanseringmuren uten kuldebro under stasjonære forhold der utelufttemperaturen er lik årsmiddeltemperaturen for Oslo på 6,0 °C. Temperaturforholdene 20 meter nede i grunnen er konstante og lik årsmiddeltemperaturen på 6,0 °C. Innelufttemperaturen er konstant lik 20 °C. Ytterveggen har bredde 150 mm. Beregningene er gjennomført med bruk av siltige materialer i grunnen med vanninnhold 22 vekt % og varmeledningsevne 1,7 W/mK i ufrosset og 2,75 W/mK i frosset tilstand. Pukkens varmeledningsevne er satt til 0,6 W/mK. Alle følgende beregninger, stasjonære og ikke stasjonære, er utført med beregningsprogrammet TEMP/W og det er brukt en husbredde på 10 m.



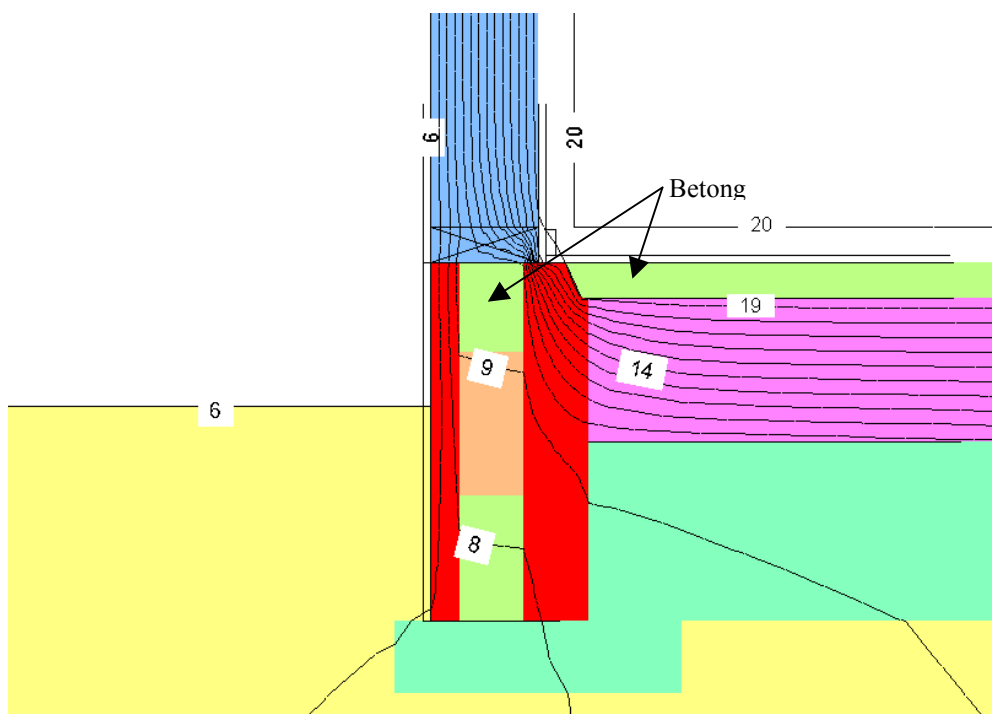
Figur 3.2

Eksempel på referanseringmur uten kuldebro der ytterveggen har bredden 150 mm. Det er brukt 200 mm gulvisolasjon og 50 mm utvendig ringmursisolasjon.



Figur 3.3

Temperaturforholdene i grunnen under stasjonære forhold for referanseringmur uten kuldebro gitt i Figur 3.2. Utelufttemperaturen er lik årsmiddeltemperaturen for Oslo på 6,0 °C. Temperaturen 20 m nede i grunnen er satt konstant lik 6,0 °C



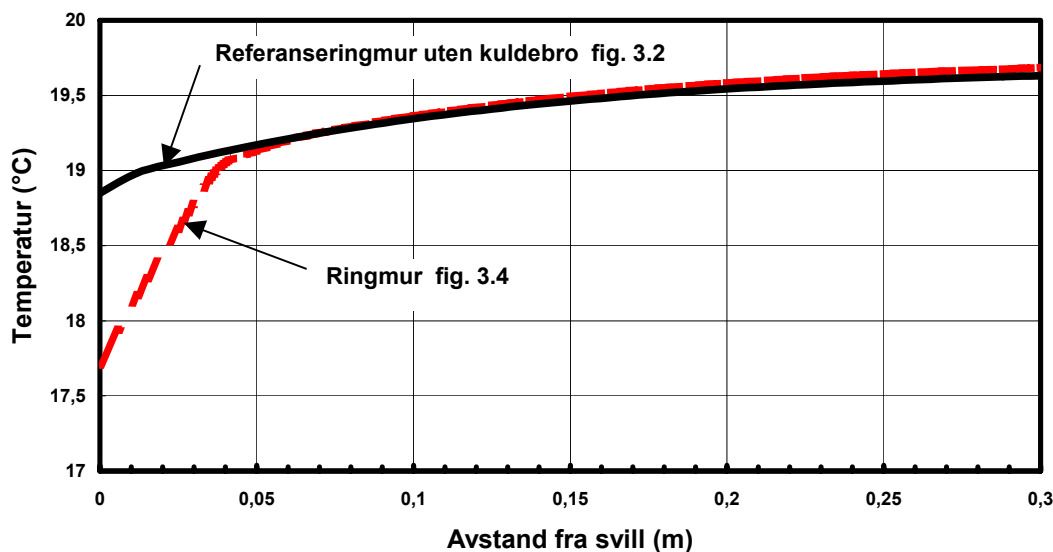
Figur 3.4

Prefabrikkert ringmur der ytterveggen har bredden 150 mm og det er brukt 200 mm gulvisolasjon. Stasjonære beregninger med årsmiddeltemperatur 6,0°C og innelufttemperatur 20 °C. Veggbredden er 150 mm

Figur 3.4 viser en karakteristisk utforming av et prefabrikkert ringmurselement der det er brukt 200 mm gulvisolasjon, 40 mm utvendig og 90 mm innvendig ringmursisolasjon. Innvendig ringmursisolasjon er avtrappet i toppen mot betonggulvet til 55 mm.

Figur 3.5 viser temperaturfordelingen fra svillen og inn på gulvflaten. På grunn av den tykke gulvisolasjonen vil kuldebroen i randsonen være meget lokal. Allerede 50 mm inne på gulvflaten fra svillen er kuldebrovirkningen i randsonen helt eliminert. Med en veggtykkelse på 200 mm er den viste ringmursløsningen vel så god som referansekonstruksjonen uten kuldebro. Dette skyldes at samlet ringmursisolasjon for det prefabrickerte ringmurselementet er tykkere enn for referanseringmuren. Ringmursisolasjonen har derfor betydning for å redusere varmetapet lenger inn på gulvflaten. Allerede i kanten av betonggulvet er kuldebrovirkningen nær eliminert. Med en veggbredde på 150 mm vil betonggulvet ligge ca. 40 mm innenfor svillen.

Figur 3.5 illustrerer at den utvendige isolasjonen vil dempe temperaturamplitudene mens det er innvendig isolasjon som primært sørger for å bryte kuldebroen mot betonggulvet. Dette understreker betydningen av å ikke ha for tynn isolasjon i ringmurtoppen. En effektiv måte å redusere utbredelsen av kuldebroen i ringmurtoppen er å bruke en type isolasjonsbetong eller sponplate lagt flytende, begge med lav varmeledningsevne, som topplag over gulvisolasjonen. I beregningene er det forutsatt at svillen inngår som element i veggkonstruksjonen. Da tresvillen også vil påvirke temperaturene i gulvoverflaten, er denne tatt med i etterfølgende beregninger av varmetap i randsonen. Trematerialer har tre ganger høyere varmeledningsevne enn vanlige isolasjonsmaterialer, det bør derfor brukes en kuldebrobryter i tilknytning til tresvillen.

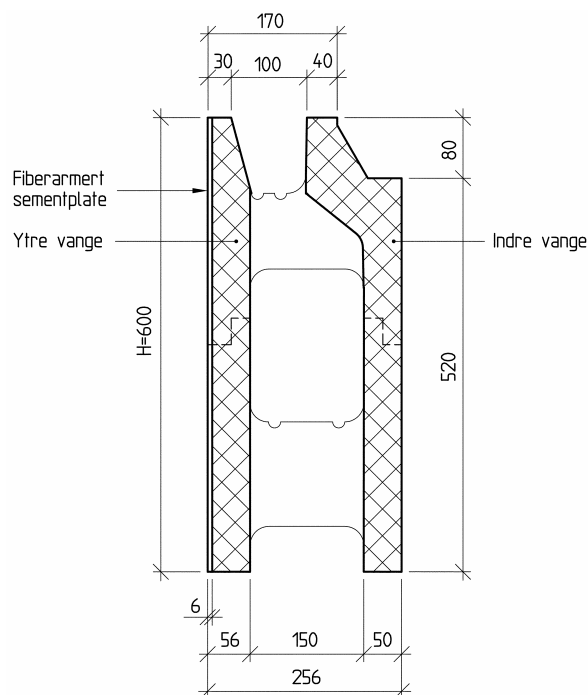


Figur 3.5

Temperatur på gulvoverflaten fra svillen og inn på gulvet for referanse konstruksjonen uten kuldebro ringmurselementet (Figur 3.2). Fra kanten av betonggulvet og inn på gulvflaten er temperaturforholdene tilnærmet like. Ringmuren i Figur 3.4 har tykkere ringmursisolasjon og noe høyere gulvtemperaturer lenger inn på gulvflaten. Den store temperaturgradienten ligger over innvendig isolasjon som tjener som en effektiv kuldebrobryter

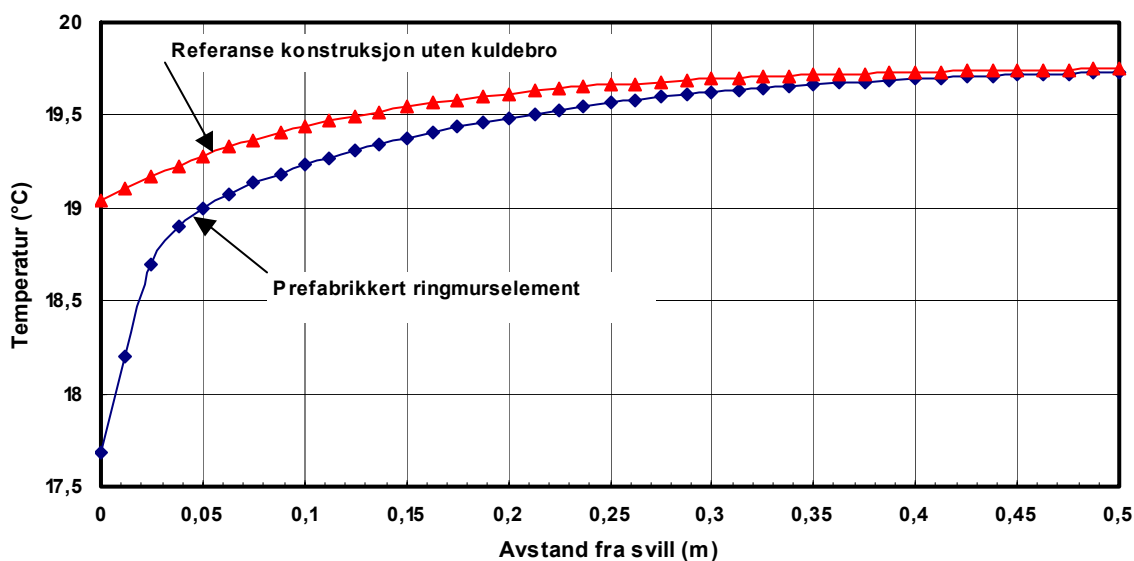
Utfordringen er derfor å utvikle et ringmurselement med minst mulig kuldebrovirkning og dermed tilleggsvarmetap i ringmurtoppen. På grunn av betongens relativt høye varmeledningsevne vil betonggulvet virke som en kjøleribbe. En nedkjøling av betonggulvet i randsonen vil derfor trekke mer varme ut av gulvflaten, og dermed øke tilleggsvarmetapet. Denne avkjølingen av betonggulvet i randsonen er spesielt uheldig ved bruk av gulvvarme med varmerør innstøpt i betong, anhydritt eller liknende, og vil føre til en betydelig økning i varmetapet.

Figur 3.6 viser eksempel på en annen prefabrikkert ringmursløsning med noe tynnere innvendig isolasjon (ca. 40 mm) mot betonggulvet. Veggbredden er igjen 150 mm og gulvisolasjonen 200 mm. Nedkjølingen av betongen fører til at kuldebrovirkningen først er eliminert i en avstand på ca. 0,6 m fra svillen, se Figur 3.7. Dersom det benyttes gulvbelegg som parkett (eller liknende) har det ingen styrkemessig betydning om ikke betongdekket går helt ut til svillen. En kan også bruke noe mer trykkfast isolasjon i ringmurselementet. Det er her bedre å øke den innvendige isolasjonstykkelsen på ringmurselementet og dermed unngå avkjøling av betongdekket.



Figur 3.6

Prefabrikkert ringmurselement med tynnere innvendig isolasjonsvange. Ringmurssystemet er basert på elementer av ekspandert polystyren (EPS), beregnet for fundamentering av bygninger med gulv på grunnen. Elementene settes sammen, armeres horisontalt og istøpes betong



Figur 3.7

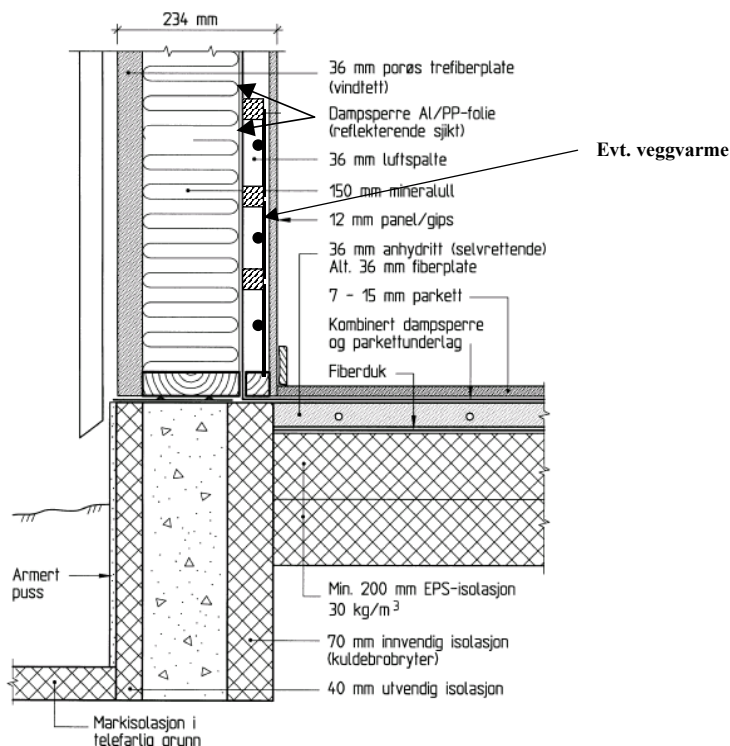
Temperatur på gulvoverflaten fra svillen og inn på gulvflaten for et prefabrikkert ringmurselement (vist i Figur 3.6) med tilleggsvarmetap 0,03 W/mK i forhold til referanse ringmuren uten kuldebro. Nedkjølingen av betongen som ligger ca. 15 mm innenfor en 150 mm bred svill, forplantes ca. 0,6 m inn på gulvflaten. Den største temperaturdifferansen ligger over den innvendige isolasjonsvangen

Ved å øke veggbredden til 200 mm eller mer, er det mulig å bruke tilfredsstillende tykkelse på innvendig isolasjon som kuldebrobryter i ringmurtoppen. En kan dermed øke bredden på betongkjernen. Dette har også stor betydning for ringmurens mekaniske egenskaper som omfatter forankring, lastoverføring og stabilitet. Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven

angir da også et U-verdikrav lik $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ for utvendig vegger, som svarer til en veggtykkelse på ca. 200 mm. Det har i Norge tradisjonelt vært vanlig å bruke 150 mm veggtykkelse. For å kunne fortsette å bruke denne veggtykkelsen etter gjeldende teknisk forskrift (TEK 1997) til plan- og bygningsloven har det vært vanlig å foreta en omfordeling av isolasjonen i klimaskjermen for å opprettholde varmetapsrammen. Dette er uheldig fordi en økning av veggtykkelsen i seg selv er viktig for å redusere varmetapet. Ved å øke veggtykkelsen vil det dessuten være lettere å unngå kuldebro i overgangen ringmur/vegg, ringmur/gulv og vegg/tak.

3.2 Modifisert ringmursløsning

På bakgrunn av en rekke beregninger av kuldebroer og tilleggsvarmetap i overgangen mellom ringmur og yttervegg er det vist et prinsipielt eksempel på gulv på grunnen løsning i Figur 3.8a, der det er tatt hensyn til ovennevnte forhold. Ringmursløsningen sikrer god kuldebroisolasjon og tilfredsstillende lastoverføring til grunnen. Ringmursløsningen vist på Figur 3.8a er brukt ved videre analyse av varmetap, frostsikring og kuldebroeffekter. Alle følgende beregninger har tatt utgangspunkt i denne utførelsen. Det er generelt brukt Oslo klima som referanseklima. Beregningene er gjennomført med bruk av siltige materialer i grunnen med vanninnhold 22 vekt % og varmeledningsevne $1,7 \text{ W/mK}$ i ufrosset og $2,75 \text{ W/mK}$ i frosset tilstand. De beregningene som er utført med markisolasjon forutsetter at denne har en bredde på 0,6 m og tykkelse 50 mm. Samlet tykkelse på ringmursisolasjon er 110 mm, der indre vange har en isolasjonstykkelse på 70 mm. I kaldere klima kan det være nødvendig å øke tykkelsen på ringmursisolasjonen og tilsvarende øke tykkelsen og bredden på markisolasjonen. Dette for å frostsikre ringmursfundamentet i telefarlig grunn, og for å unngå gjennomfrysning av ringmuren, se kapittel 8. En gjennomfrysning av ringmuren kan skape problemer for bunnledningene og bør unngås. Dette vil skjerpe kravet til ringmursisolasjonen og bruk av markisolasjon også i ikke-telefarlig grunn.



Figur 3.8a

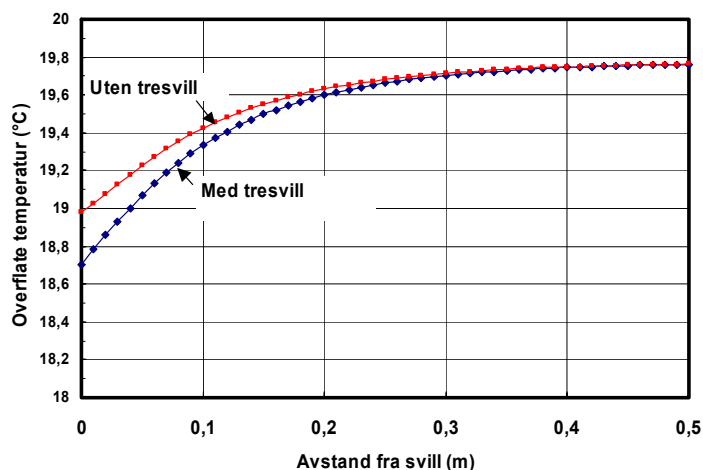
Prinsippskisse. Prefabrikkert ringmurselement for gulv på grunnen. Veggens bredde er 234 mm. U-verdi $\approx 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ og gjennomsnittlig årlig (nominell) U-verdi for gulvet (etter NS-EN ISO 13370) er $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ (100 m² grunnflate). Gulvkonstruksjonen alene, uten grunnens varmemotstand, har en U-verdi på $0,17 - 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ringmurselementet i Figur 3.8a består av en innvendig og utvendig vange i EPS-isolasjon der en innvendig EPS ribbe holder vangene sammen. Dette er det tatt hensyn til i beregningene. Ringmuren tjener samtidig som en støpeform for betong. Den tilstøtende veggen har en samlet bredde på 234 mm. Den bærende del av veggen består av 150 mm brede stendere og mineralull isolasjon. Innenfor veggisolasjonen er det lagt et reflekterende dampsperrsjikt. Veggen er utført med en 36 mm luftspalte. Målinger og beregninger viser at et reflekterende sjikt og 36 mm luftspalte har samme varmemotstand som tilsvarende isolasjonstykkelse. Dersom spalten økes til 50 mm skal spalten fylles med mineralull. En av fordelene ved inntrukket dampsperre er at skjult elektrisk anlegg ikke ødelegger dampsperran. Utvendige kuldebroer på grunn av stendere og svill er eliminert ved å bruke en 36 mm tykk porøs trefiberplate (vindsperre) som også sørger for avstivning av veggen. U-verdi for ytterveggen ligger på ca. $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Veggkonstruksjonen er også utført med tanke på å anlegge lavtemperatur veggvarme i nedre del av veggen, se Figur 3.8. Dersom det brukes veggvarme skal det legges mineralullplater bak varmfordelingsplatene. En reduserer da konveksjonen i spalten og sikrer en god ledende kontakt mellom varmfordelingsplatene og veggkledningen.

En samlet veggbredde på 234 mm gjør det mulig å bruke en ringmursløsning med tilstrekkelig bredde både for å sikre mot kuldebro i ringmurtoppen og for tilfredstillende stabilitet og lastoverføring til underlaget. I dårlig grunn kan det være behov for å bruke en såle under ringmurselementet for å fordele lasten over en større flate. Marken er da normalt telefarlig og krever bruk av markisolasjonen som fortrinnsvis bør legges over sålen.

For å unngå kuldebro i fundamenttoppen er det vesentlig at innvendig isolasjonsvange ikke er for tynn. Det betyr at veggen minst bør ha en bredde på 200 mm. Fordelen med denne ringmursutførelsen er at en ikke behøver å øke vegg høyden for å eliminere kuldebroen ved overgangen vegg/ringmur og ringmur/gulv. Da det er brukt relativt trykksterk gulvisolasjon, kan en bruke ulik gulvoppbygging. Ved bruk av gulvvarme kan en for eksempel bruke 36 mm selvutjevne anhydritmasse med høy varmeledningsevne ($1,9 \text{ W/mK}$). Alternativt kan en bruke en lett løsning med fiber- eller sponplater, med spor og varmfordelingsplater. Isolasjonsbetong kan også brukes som avrettingslag. Som topplag kan for eksempel 7-15 mm parkett benyttes. Markisolasjon brukes generelt i telefarlig grunn. Som vi skal vise kan det også være hensiktsmessig å bruke noe markisolasjon i ikke telefarlig grunn.

Alle følgende beregninger er foretatt med det geotermiske elementmetodeprogrammet TEMP/W for bestemmelse av stasjonær og ikke-stasjonær todimensjonal varmestrøm. Det er tatt hensyn til innfrysningsvarmen og temperaturavhengige termiske egenskaper for fuktige jordmaterialer. I de stasjonære beregningene er innelufttemperaturen satt konstant lik 20°C , og utelufttemperaturen og temperaturen 20 m nede i grunnen er satt konstant lik årsmiddeltemperaturen for Oslo som er $6,0^\circ\text{C}$. Det er tatt hensyn til tresvillen ved beregning av temperaturfordelingen på gulvoverflaten. Tresvillen vil virke som en kuldebro og vil senke temperaturene på gulvoverflaten i randsonen, se Figur 3.8b.

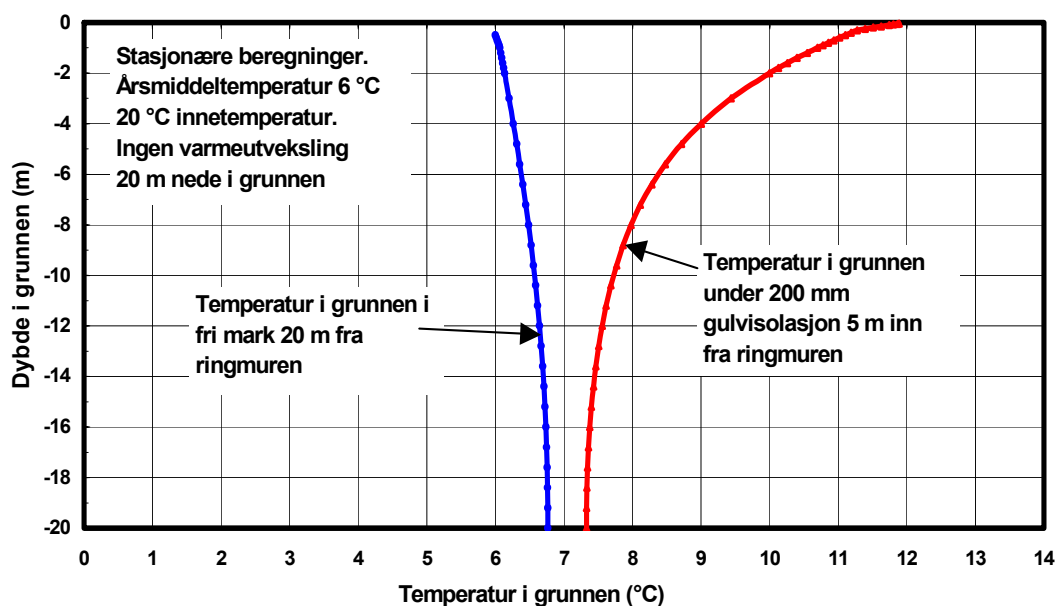


Figur 3.8b

Stasjonære beregninger av temperaturfordeling på gulvoverflaten for ringmurløsningen i Figur 3.8a med og uten tresvill. Varmetapet i en 0,5 m bred randzone er beregnet til 1,74 W/m med tresvill og 1,55 W/m uten tresvill en forskjell på ca. 12 %. Det bør derfor brukes en innvendig kuldebryter på tresvillen som vist på Figur 6.4

I energiberegninger er det vanlig at svillen regnes med som et tillegg til veggens varmetap. Dette er ikke korrekt når temperaturer på gulvoverflaten skal bestemmes. Ved å erstatte tresvillen med en trykksterk isolasjon eller ved å bruke en innvendig kuldebryter, se Figur 6.4, vil gjennomsnittlig varmetap i gulvets randzone kunne reduseres med opptil 12 %. Ved bruk av gulvvarme er det forutsatt at temperaturen mot gulvisolasjonen er utelufttemperatur kompensert. Det betyr at gulvets overflatetemperatur følger variasjonene i utelufttemperaturen for å sikre at gulvvarmeanlegget til enhver tid skal dekke husets varmebehov. På grunn av varmemotstanden for materiallaget over varmfordelingssjiktet vil temperaturen mot gulvisolasjonen normalt være høyere enn gulvets overflatetemperatur.

Dypere nede i grunnen er temperaturen tilnærmet konstant over året. Denne temperaturen settes gjerne lik årsmiddeltemperaturen for uteluften eventuelt korrigert for geotermisk gradient, som i gjennomsnitt vil være i størrelsesorden 0,03 °C/m. Det vanlige i termiske beregninger er å bruke en dybde i grunnen på 20 m. For materialer i grunnen som leire med lav varmeledningsevne vil denne dybden kunne reduseres noe. Som randbetingelse 20 m nede i grunnen kan en bruke en fast temperatur lik årsmiddeltemperaturen, eller forutsette at det ikke finner sted noe varmeutveksling i vertikalplanet denne dybden, se Figur 3.9 - Figur 3.12.



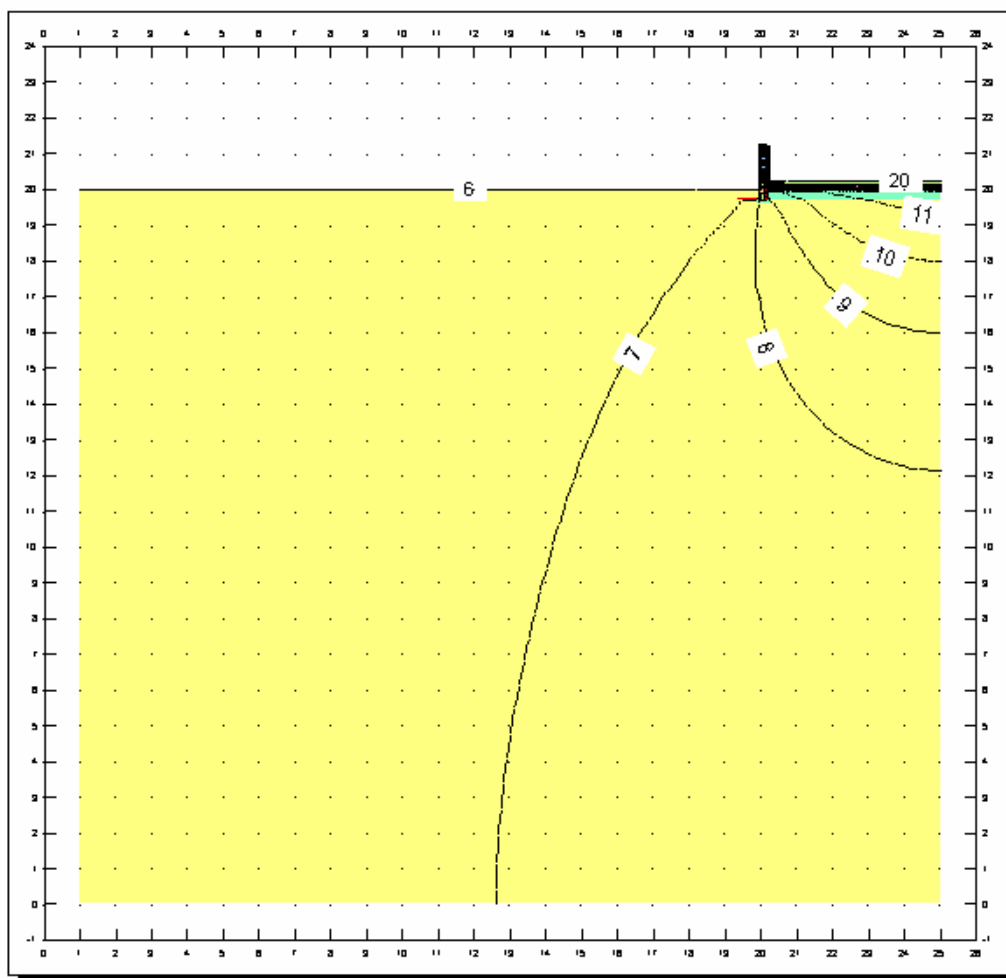
Figur 3.9

Stasjonære beregninger. Det er forutsatt at det ikke er noen varmeutveksling i vertikalplanet 20 m nede i grunnen

I tilfeller hvor en forutsetter at det ikke er noen varmeutveksling i vertikalplanet 20 m nede i grunnen (se

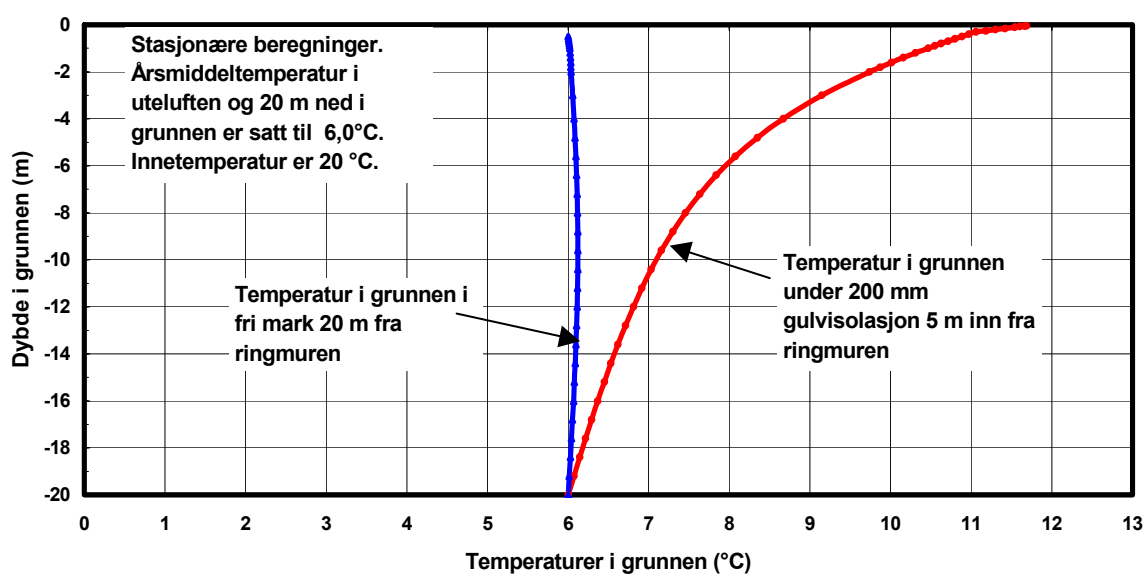
Figur 3.9 og Figur 3.10), vil dette føre til en betydelig varmelagring i grunnen. Dette påvirker også jordtemperaturene i fri mark 20 m fra husfundamentet. Det er forutsatt en husbredde på 10 m. Det fremgår at en får en oppvarming 20 m i grunnen midt under gulvet på 1,3 °C. Temperaturen i grunnen 5 m fra ringmuren umiddelbart under gulvisolasjonen ligger på 11,9 °C.

En annen randbetingelse kan være å forutsette en konstant temperatur lik årsmiddeltemperaturen på 6,0°C 20 m nede i grunnen, se Figur 3.11 og Figur 3.12. Dette vil gi noe mindre varmelagring dypere nede i grunnen. Dermed fås en vesentlig mindre påvirkning av jordtemperaturene i fri mark 20 m fra husfundamentet. Det er også her forutsatt en husbredde på 10 m. Temperaturen i grunnen 5 m fra ringmuren umiddelbart under gulvisolasjonen ligger på 11,7 °C. Forskjellen i varmetap mellom de to variantene av randbetingelser vil i gjennomsnitt ligge under 2 % og i randsonen vil forskjellen være enda mindre. Randbetingelsene som benyttes har derfor relativt liten innflytelse på temperaturbildet og varmetapet fra selve gulvkonstruksjonen. Da forholdene dypere nede i grunnen normalt er uoversiktlige, med mulighet for avkjøling for eksempel på grunn av grunnvannstrømmer, har vi i parameterstudiene både for stasjonære og ikke stasjonære beregninger valgt å bruk den mer konservative formen med konstant temperatur lik årsmiddeltemperaturen 20 m nede i grunnen. For større bygninger, der en i tillegg har god oversikt over forholdene dypere nede i grunnen, kan det være nødvendig å gå dypere enn 20 m nede i grunnen for å kunne forutsette ingen vertikal varmeutveksling. Varmetapet fra gulvet til grunnen vil over tid bygge opp et betydelig varmemagasin i massene under sentrale deler av gulvet. Dersom en ikke får en ekstern avkjøling på grunn av tilførsel av overflatevann eller kald trekk vil massene i prinsippet vil virke som en gulvisolasjon.



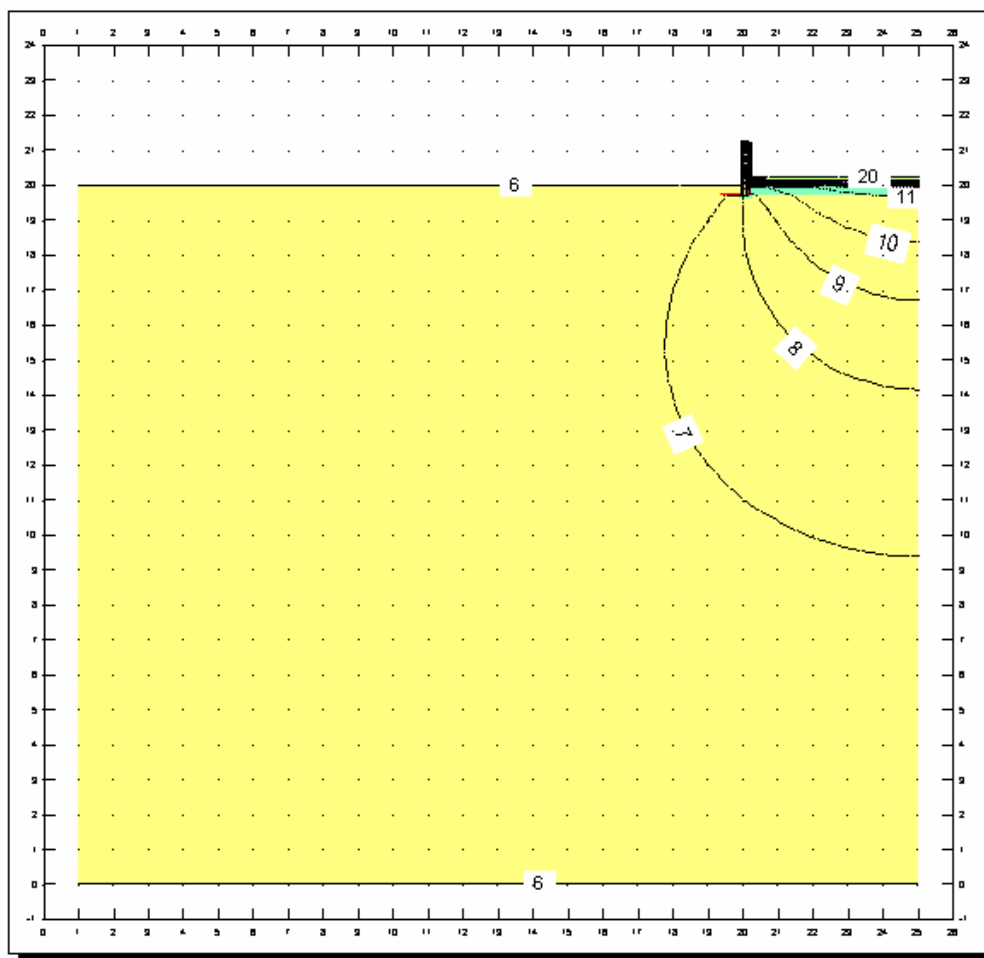
Figur 3.10

Stasjonære beregninger. Det er forutsatt at det ikke er noen varmeutveksling i vertikalkanalen 20 m nede i grunnen



Figur 3.11

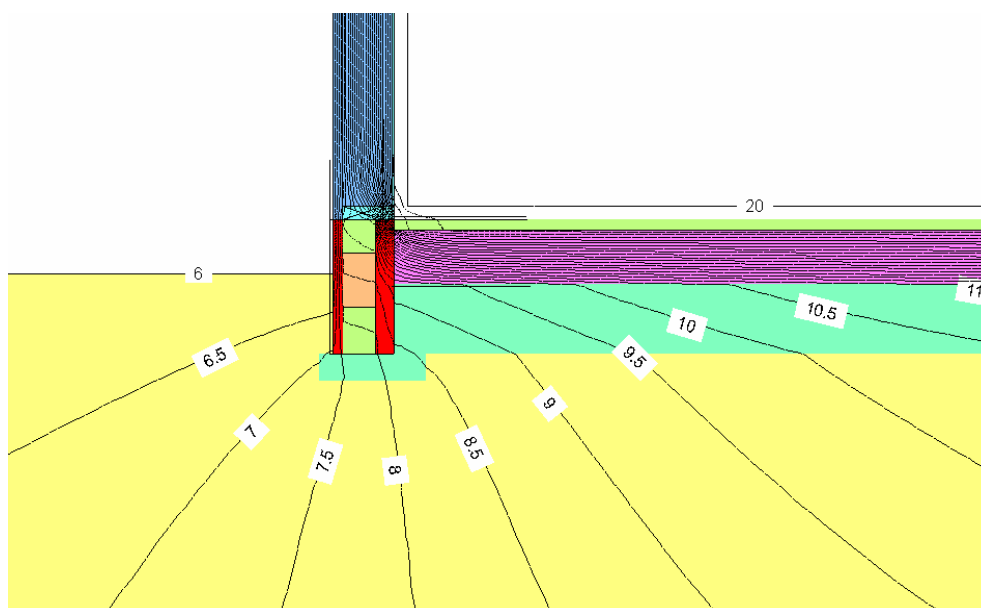
Stasjonære beregninger. Det er forutsatt konstant temperatur lik årsmiddeltemperaturen på 6,0°C for uteluften og 20 m nede i grunnen. innetemperaturen er 20 °C



Figur 3.12

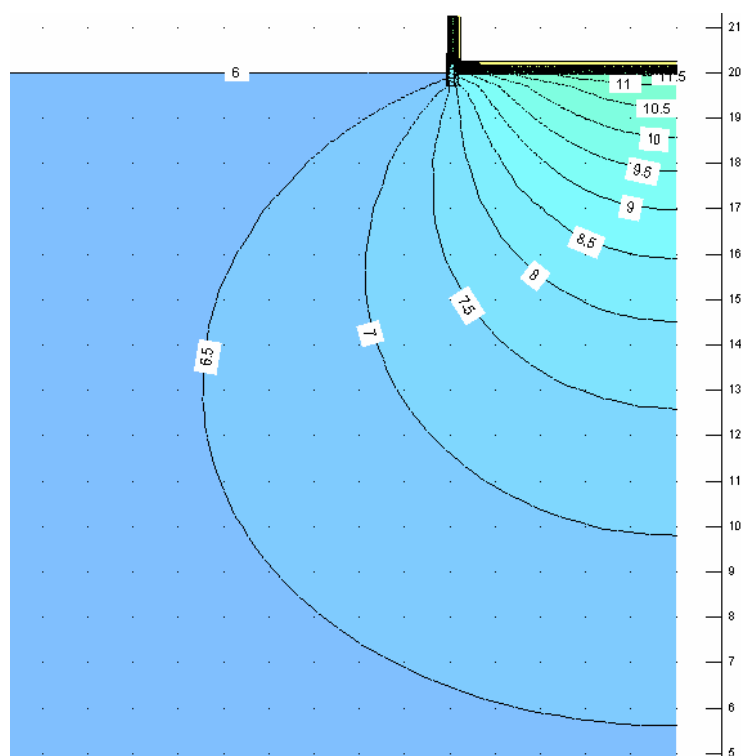
Stasjonære beregninger. Det er forutsatt konstant temperatur lik årsmiddeltemperaturen på 6,0°C for uteluften og 20 m nede i grunnen. Innlufttemperaturen er 20 °C

Figur 3.13 og Figur 3.14 viser temperaturfordelingen under stasjonære forhold nær ringmurs-elementet og dypere ned i grunnen. Gjennomsnittlig varmetap i en randsonen på 0,5 m er i tilfellet uten bruk av markisolasjon beregnet til 1,78 W/m. På grunn av beskjedent varmetap til grunnen i randsonen vil det i telefarlig grunn være nødvendig med markisolasjon for å unngå problemer med frostnedtrengning under ringmurselementet. For å kunne fastlegge nødvendig markisolasjon for frostsikring må det gjennomføre ikke-stasjonære beregninger.



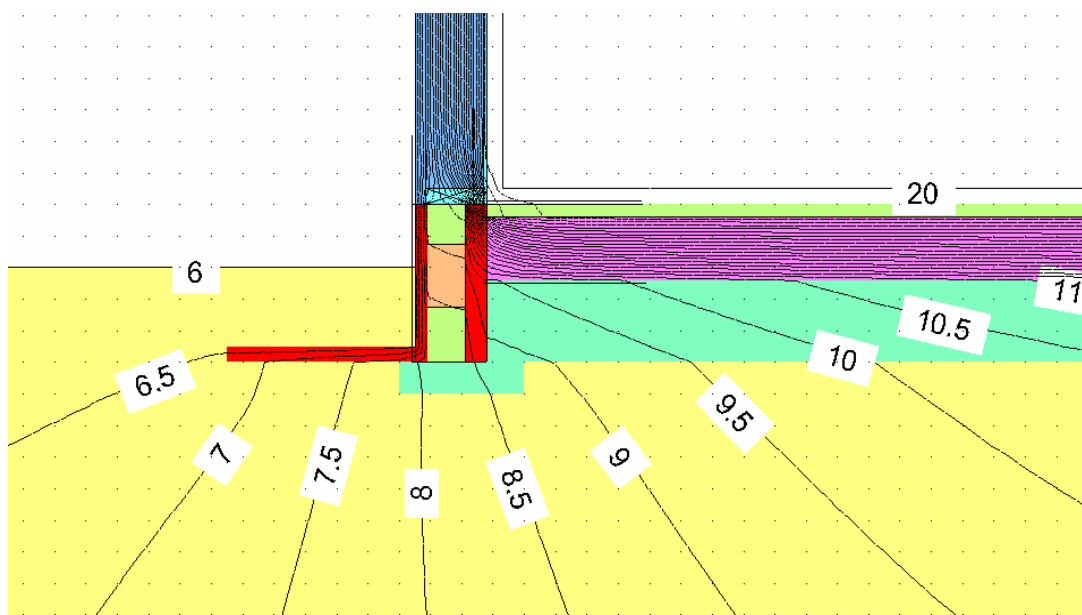
Figur 3.13

Stasjonær beregning (Temp/W) av temperaturfordeling for modifisert ringmursløsning uten markisolasjon, se Figur 3.8a i kapittel 3.2. Årsmiddeltemperaturen er 6,0 °C. Varmetap i en 0,5 m bred randzone er beregnet til 1,78 W/m. Materialene i grunnen er silt med varmeledningsevne i 1,7 W/mK i ufrosset tilstand



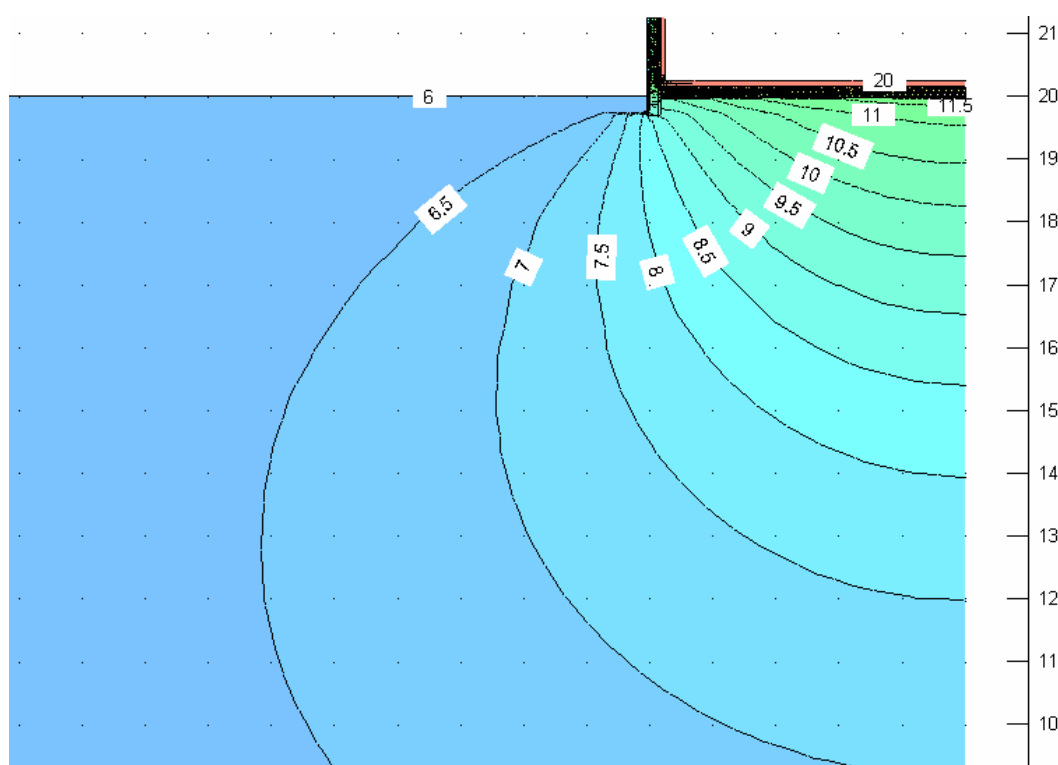
Figur 3.14

Temperaturforholdene gitt i Figur 3.13 dypere nede i grunnen



Figur 3.15

Stasjonære beregninger av temperaturfordeling for modifisert ringmursløsning gitt i Figur 3.8, med bruk av markisolasjon. Årsmiddeltemperatur er satt lik 6,0 °C. Varmetapet i en 0,5 m bred randzone er beregnet til 1,74 W/m. Materialene i grunnen er silt med varmeledningsevne i 1,7 W/mK i ufrosset tilstand

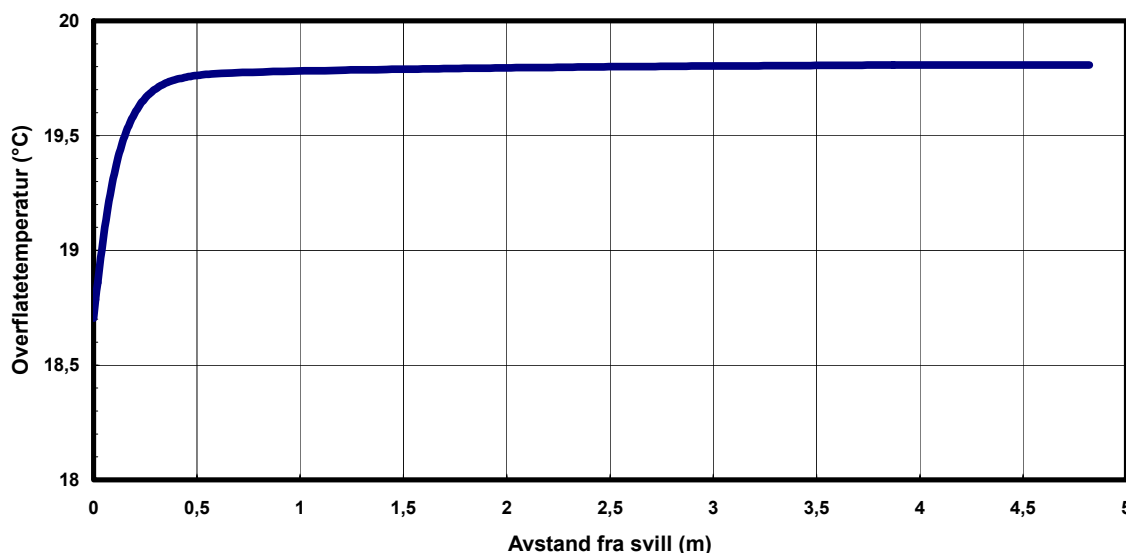


Figur 3.16

Temperaturforholdene lenger ned i grunnen for ringmur med markisolasjon (ref. Figur 3.15)

Figur 3.15 og Figur 3.16 viser tilsvarende resultater fra stasjonære beregninger med bruk av 600 mm bred og 50 mm tykk markisolasjon der gjennomsnittlig varmetap i en randzone på 0,5 m ligger på 1,74 W/m. Ved å bruke stasjonære beregninger vil markisolasjonen bare redusere varmetapet i randsonen med ca. 2%. I NS-EN ISO 13370 basert på stasjonære betraktninger fremgår det da også at virkningen av markisolasjonen er tilnærmet

neglisjerbar. Tilnærmede stasjonære beregninger (årgjennomsnitt) er derfor lite egnet til å påvise effekten av å bruke markisolasjon. Dette gjelder særlig gjennomsnittlig varmetap over vinterhalvåret. Markisolasjon vil kunne ha relativt stor innvirkning på frostsonens plassering i forhold til ringmursfundamentet og vil dermed påvirke varmetapet i randsonen under frostsasjonen.

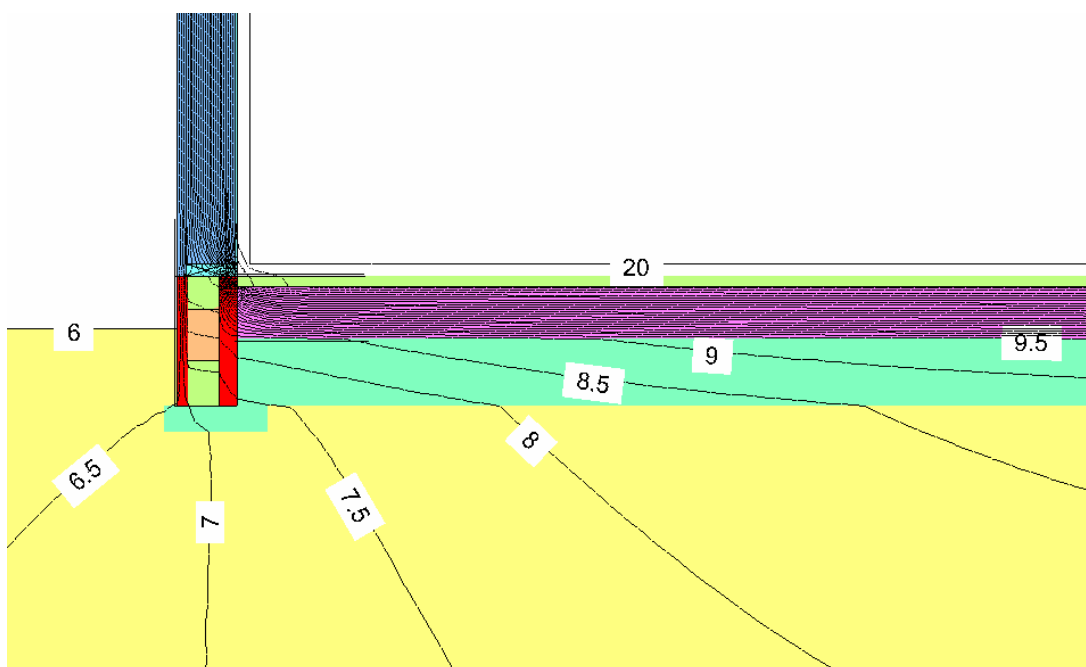


Figur 3.17

Stasjonære beregninger uten bruk av markisolasjon, fundamentet Figur 3.8. Temperaturfordelingen over gulvoverflaten fra svillen og 5 m inn på gulvet. Innelufttemperaturen er 20°C. Utelufttemperaturen og temperaturen 20 m ned i grunnen er 6 °C. Overflatetemperaturen 0,5 m og 5,0 m inne på gulvet er tilnærmet den samme lik 19,8 °C

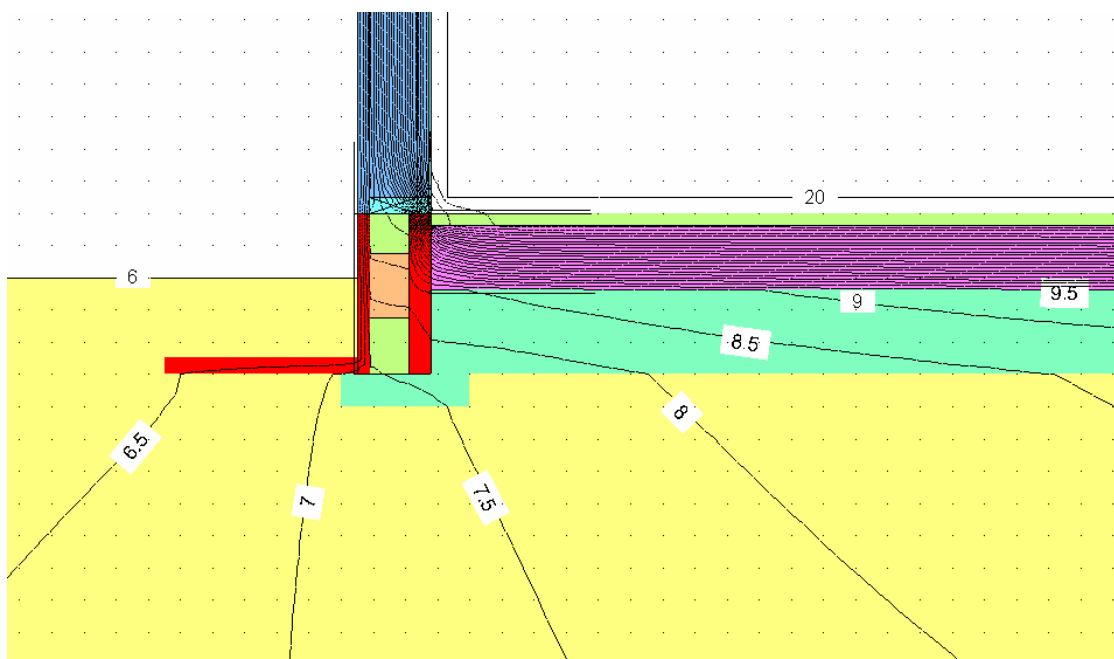
Figur 3.17 viser temperaturfordelingen over gulvflaten fra svillen og 5 m inn på gulvflaten. Dette viser igjen at det er i randsonen en har endringer i temperaturen. Spesifikt varmetap inne på gulvflaten ligger på 1,52 W/m². Når det tas hensyn til varmetapet i randsonen på 0,5 m (som ligger på 1,74 W/m²) eller spesifikt varmetap på 3,48 W/m², vil gulvet ha et gjennomsnittlig spesifikt årlig varmetap på 1,72 W/m². På grunn av et relativt stort varmetap i en smal randsonen økes det gjennomsnittlige spesifikke varmetapet for hele gulvet med 13%. Det er da forutsatt en gulvflate lik 10 x 10 m eller 100 m². For større gulvflater vil varmetapet i randsonen få mindre innflytelse på gulvets spesifikke varmetap. Imidlertid vil den lokale effekten av kuldebroen i randsonen på gulvtemperaturene være den samme uavhengig av byggets størrelse.

Figur 3.18 og Figur 3.19 viser temperaturforholdene i fjellgrunn med og uten bruk av markisolasjon. På grunn av fjellgrunnens høye varmeledningsevne (3,5 W/mK) og stasjonære beregninger, vil igjen markisolasjonens innvirkning på varmetapet være neglisjerbar. Også i fjellterreng vil markisolasjonen påvirke temperaturforholdene lokalt ved ringmuren.



Figur 3.18

Stasjonære beregninger av temperaturfordelingen i fjellgrunn. Varmetap i en 0,5 m bred randzone er beregnet til 1,90 W/m. Fjellets varmeledningsevne er satt til 3,5 W/m². Pukkmaterialene under fundament og gulv har varmeledningsevnen 0,6 W/mK



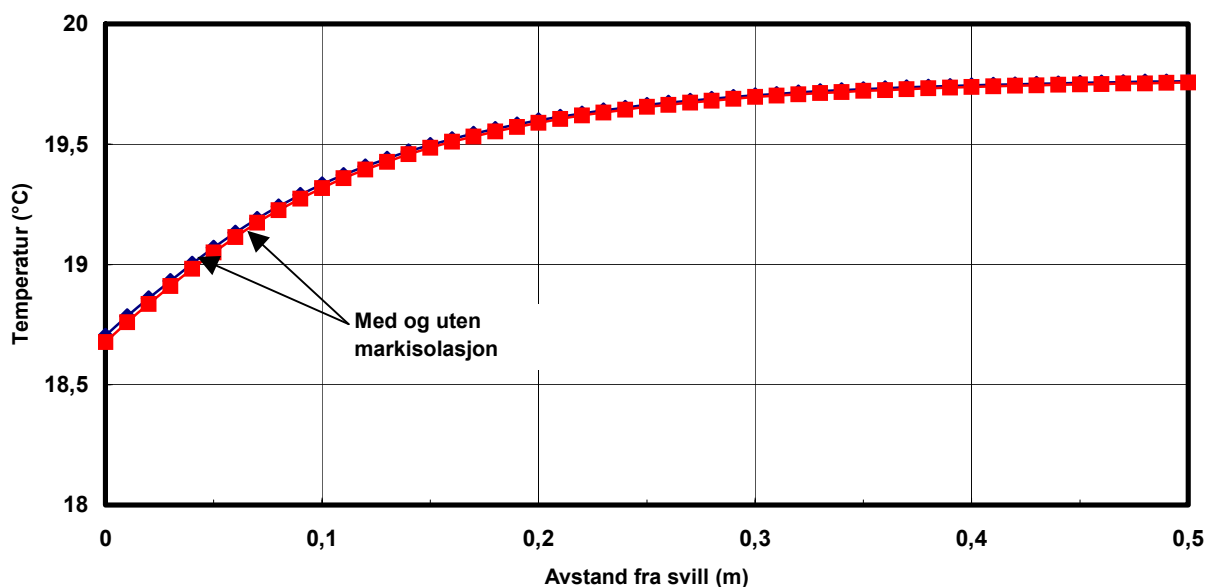
Figur 3.19

Stasjonære beregninger av varmedistribusjonen i fjellgrunn med bruk av en 600 mm bred og 50 mm tykk markisolasjon. Varmetapet i en ytre sone på 0,5 m er beregnet til 1,87 W/m

Figur 3.20 viser temperaturfordelingen fra ringmurtoppen og 0,5 m inn på gulvflaten for fundamentet med og uten markisolasjon. Det fremgår her at varmestrømmen gjennom gulvflaten en halv meter inn fra ringmuren er tilnærmet endimensjonal og meget nær innelufttemperaturen. Temperaturfallet på gulvoverflaten i randsonen skyldes en kombinasjon av lave temperaturer i grunnen og kuldebro i ringmurtoppen på grunn av

betongkjernen. Begge forhold vil påvirke gulvtemperaturene i en konsentrert randzone mot yttervegger.

Stasjonære beregninger gir i det aktuelle tilfellet med 200 mm tykk gulvisolasjon en relativt beskjeden forskjell i varmetap i en 0,5 m bred randzone i fjellterreng og i telefarlig grunn. Med bruk av markisolasjon vil forskjellen være 7,5 %. I fjellterreng uten snødekke vil 0-isotermin i fri mark rent teoretisk kunne gå ned opptil 4,5 m mens frostnedtrengningen i telefarlig grunn vil begrenses til ca. 1,7 m under dimensjonerende forhold. Dette er forhold som ikke kommer fram i varmetapsberegninger basert på stasjonære årlige gjennomsnittsbetraktninger med korreksjon for periodisk varmestrøm. Når det ikke tas hensyn til temperaturavhengige materialparametere og latent varme, benyttes generelt for ekstreme betingelser.



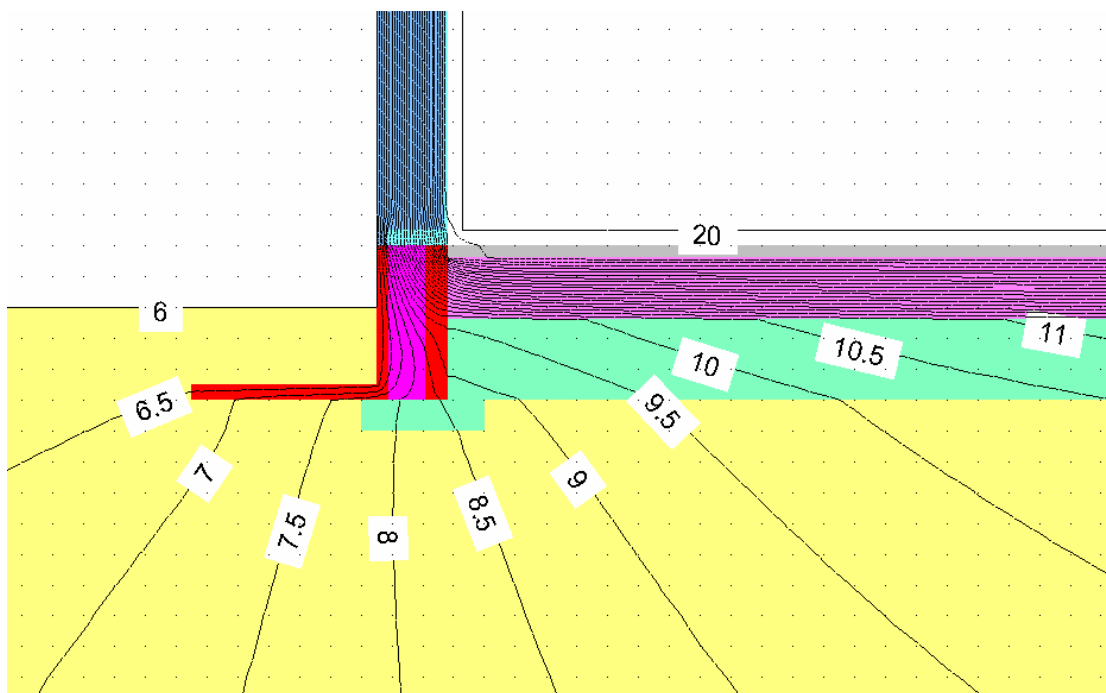
Figur 3.20

Gjennomsnittlig temperaturfordeling på gulvoverflaten fra ringmuren og 0,5 m inn på gulvflaten for gulv med og uten markisolasjon. Årsmiddeltemperaturen er 6,0 °C og materialene i grunnen er silt med varmeledningsevne 1,6 W/mK. Ved stasjonære gjennomsnittsbetraktninger vil markisolasjonens innvirkning på gulvtemperaturene være neglisjerbar. Dette gjelder uavhengig av materialene i grunnen

For å se på ringmursisolasjonens betydning for varmetapet i randsonen er det gjennomført tilsvarende stasjonære beregninger der 200 mm av betongen i ringmurtoppen, ev. hele ringmuren er erstattet med isolasjon. Det gir samlet tykkelse på ringmursisolasjonen lik 230 mm, se Figur 3.21 og Figur 3.22. Med all betong i ringmurselementet erstattet med isolasjon og bruk av markisolasjon, er varmetapet i en 0,5 m bred randzone redusert til 1,4 W/m. Dersom 200 mm av betongen i ringmurtoppen erstattes med isolasjon vil varmetapet beregningsmessig være 1,43 W/m. Beregningene bekrefter at det er viktig med god isolasjon i ringmurtoppen for å unngå kuldebro. Det fremgår også at ved å øke tykkelsen på isolasjonen i ringmurtoppen fra 110 til 230 mm, oppnås en økning i temperaturen på gulvoverflaten nærmest svillen med 0,4 °C.

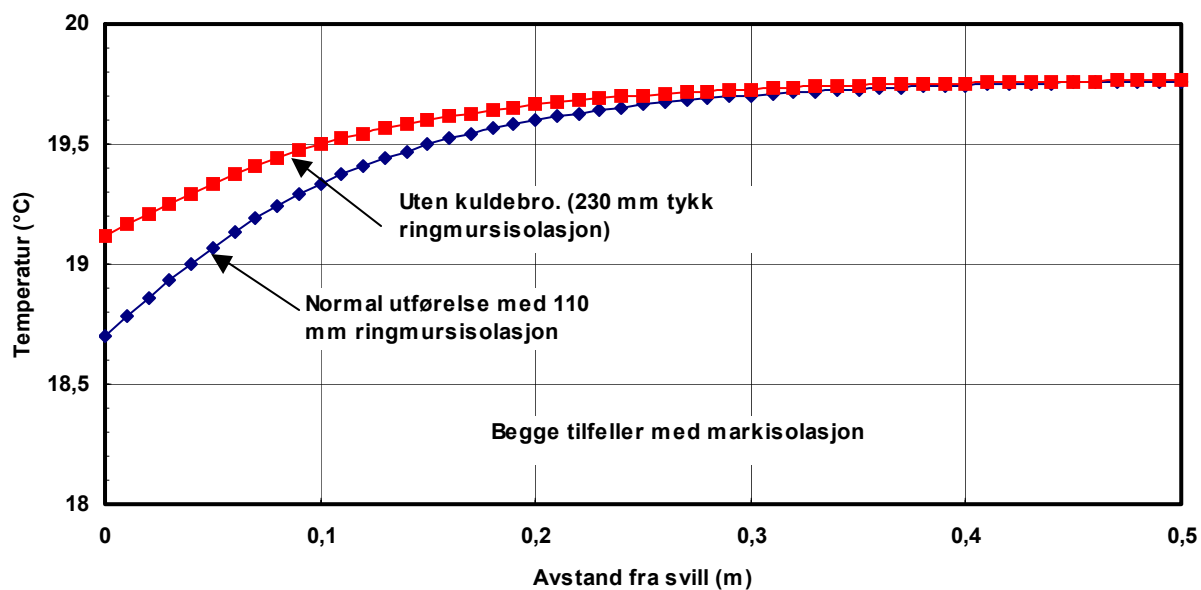
Kuldebroen nær ringmurtoppen for referanse ringmuren utgjør i gjennomsnitt 24% av varmetapet i randsonen. Denne kuldebroen vil påvirkes av relativt hurtige svingninger i utelufttemperaturen og må derfor tas hensyn til ved effektberegninger som grunnlag for dimensjonering av varmeanlegg. Dette i motsetning til endringer i jordtemperaturene, som er sterkt dempet og faseforskjøvet i forhold til endringer i uteluften. Imidlertid viser

beregningene samtidig at det ligger et stort potensial når det gjelder å redusere varmetapet i randsonen ved å forbedre ringmursisolasjonen i ringmurtoppen.



Figur 3.21

Berekningmessig temperaturfordeling når all betong i hele ringmurselementet er erstattet med isolasjon. Tykkelsen på ringmursisolasjonen er økt fra 110 til 230 mm. Varmetapet i en randzone på 0,5 m er beregnet til 1,40 W/m. Ved å erstatte de øvre 200 mm av betongen i ringmurselementet med isolasjon vil varmetapet være 1,43 W/m



Figur 3.22

Stasjonære beregninger av temperaturfordelingen på gulvoverflaten fra ringmurselementet og 0,5 m inn på gulvflaten for normal utførelse, der all betong er erstattet med isolasjon. I begge tilfellene er det brukt markisolasjon

Figur 3.22 viser at bedre ringmursisolasjon vil påvirke varmetapet i gulvets randsoner i en bredde på ca. 0,30 m fra ringmuren.

Tabell 3.2.1

Stasjonær beregning av varmetapet i en 0,5 m bred randsoner (årgjennomsnitt) for fundamentet Figur 3.8 med 200 mm gulvisolasjon. Ved stasjonære beregninger vil store variasjoner i grunnmaterialenes termiske egenskaper og bruk av markisolasjon ha liten betydning for varmetapet i randsonen. Eventuell kuldebro i ringmurtoppen er derimot av større betydning

Materialer i grunnen	Varmetap i en 0,5 m bred sone fra svillen (W/m)	
	Uten markisolasjon	Med markisolasjon
Silt (1,7 W/mK)	1,78	1,74
Fjell (3,5 W/mK)	1,90	1,87
Ringmur uten kuldebro (betong). Silt i grunnen.		1,4

3.3 Dynamiske temperaturberegninger, markisolasjon

Beregningsstandarden NS-EN ISO 13370 bruker et stasjonært beregningsgrunnlag for å bestemme gjennomsnittlige årlige varmetap. Det er også vanlig å bruke dette beregningsgrunnlaget for å fastlegge gulvkonstruksjonens gjennomsnittlige eller nominelle U-verdi. Det betyr i prinsippet isolasjonsmessig at varmetapet i sommerhalvåret vektlegges på linje med varmetapet i vinterhalvåret - riktignok justert for periodiske variasjoner. Normalt vil det imidlertid være temperaturen på gulvoverflaten over fyringssesongen, eller varmetapet til grunnen og omgivelsene via ringmuren, som er av særlig interesse i en energi- og effektsammenheng. Stasjonære og dynamiske beregninger som ikke tar hensyn til endringer i grunnmaterialenes termiske egenskaper inkludert innfrysingsvarme for fuktige materialer, vil generelt gi for ugunstige betingelser. Dette vil igjen føre til vesentlig større svingninger i varmetapet over året enn under virkelige forhold. For eksempel vil den reelle nytten og effekten av å bruke markisolasjon ikke fremkomme, både når det gjelder frostsikring og varmetap. Varmetapet fra et godt isolert gulv på grunnen er i det vesentlige et randsoneproblem. Det innebærer også at relativt hurtige svingninger i utelufttemperaturen vil ha betydning for gulvtemperaturene i randsonen. Det er derfor i tillegg til ovennevnte beregningsstandard nødvendig å supplere med egne kuldebro- og frostberegninger.

I motsetning til andre bygningsdeler tilknyttet klimaskjermen er det både enkelt og forbundet med relativt beskjedne tilleggskostnader å foreta en betydelig "overdimensjonering" av gulvisolasjonen. Overdimensjonering i denne sammenhengen betyr et lavt varmetap fra gulvet under dimensjonerende forhold sammenliknet med andre deler av klimaskjermen direkte eksponert mot uteluften. Imidlertid er det ikke en overdimensjonering når det gjelder komfort. Her er det ønskelig å ha så høye gulvtemperaturer som mulig uten bruk av gulvvarme. Dette gjelder særlig i randsonen, som har størst varmetap. Også i fuktteknisk sammenheng er det gunstig med en tykk gulvisolasjon. Dermed sikres lavere temperaturer i grunnen under gulvisolasjonen. Dette er særlig viktig ved bruk av gulvvarme der det kan oppstå fuktproblemer når gulvarmeanlegget slås av, på grunn av høye jordtemperaturer. Nå vil imidlertid forløpet over året for varmetap fra gulv på grunnen være vesentlig forskjellig fra andre bygningsdeler, i det at gulvflaten har et varmetap til grunnen over hele året. Dette behøver ikke nødvendigvis være et problem da gulvet kan bidra til å dempe temperatursvingningene og dermed overtemperaturer i sommerhalvåret. Her vil valg av gulvbelegg spille en vesentlig rolle.

Varmetapet fra gulv på grunnen vil være sammensatt av et randsonetap som til en viss grad følger variasjoner i utelufttemperaturen og et mer stasjonært varmetap som varierer lite over året. Det mer dynamiske varmetapet i randsonen er igjen sammensatt av et varmetap i ringmurtoppen direkte eksponert mot uteluften (kuldebrovirkning) og varmetapet på grunn av lave jordtemperaturer. Innflytelsen fra lav jordtemperatur i randsonen kan dempes

betydelig ved å bruke en tykk ringmursisolasjon og markisolasjon. Som vi skal se, vil dette føre til at variasjoner i temperaturen på gulvoverflaten over året vil være begrenset til en meget smal sone langs ytterveggen og skyldes for en stor del kuldebroen i ringmurtoppen. Det er derfor viktig med god ringmursisolasjon. Dette vil også hindre frostgjennomslag i ringmuren.

Det tilnærmet stasjonære varmetapet vil avta noe etter hvert som det bygges opp et varmemagasin under gulvet. Ytre påvirkninger, som for eksempel vannføring i grunnen, ventilasjon eller liknende, vil til en viss grad kunne hindre oppbyggingen av dette varmemagasinet. Gulvisolasjonens primære oppgave noe lenger inn fra ytterveggen vil derfor være å redusere dette stasjonære varmetapet. Randsonetapet, som i større grad følger klimavariasjonene, vil lokalt kunne gi lave gulvtemperaturer og krever derfor spesielle tiltak utover gulvisolasjonen. Her vil ringmursisolasjonen og valg av materialer i gulvkonstruksjonen over gulvisolasjonen spille en vesentlig rolle.

En økning av gulv- og ringmursisolasjonen reduserer varmetapet fra gulvflaten til grunnen. Ved betydelig økt gulvisolasjon vil forskjeller i grunnens termiske egenskaper spille en vesentlig mindre rolle. Dette er viktig, da det alltid vil være forbundet med relativt stor usikkerhet å anslå grunnmaterialenes termiske egenskaper. Det er i dag ikke uvanlig at pukklaget under gulvet, bevisst eller ubevisst, tjener som vannmagasin og vannvei for overvann, og dermed tidvis kan fjerne betydelige varmemengder fra grunnen. Da pukklagets porøsitet er 40 % og volumetriske varmekapasitet ca. 25 % av vann, vil tilførsel av avkjølt overflatevann hurtig kjøle ned pukkmassen. Størst avkjøling fås langs husets randsoner. Også tilførsel av sigevann, som vil kunne holde en temperatur lik eller lavere enn årsmiddeltemperaturen, vil kunne kjøle ned pukkmassene og undergrunnen.

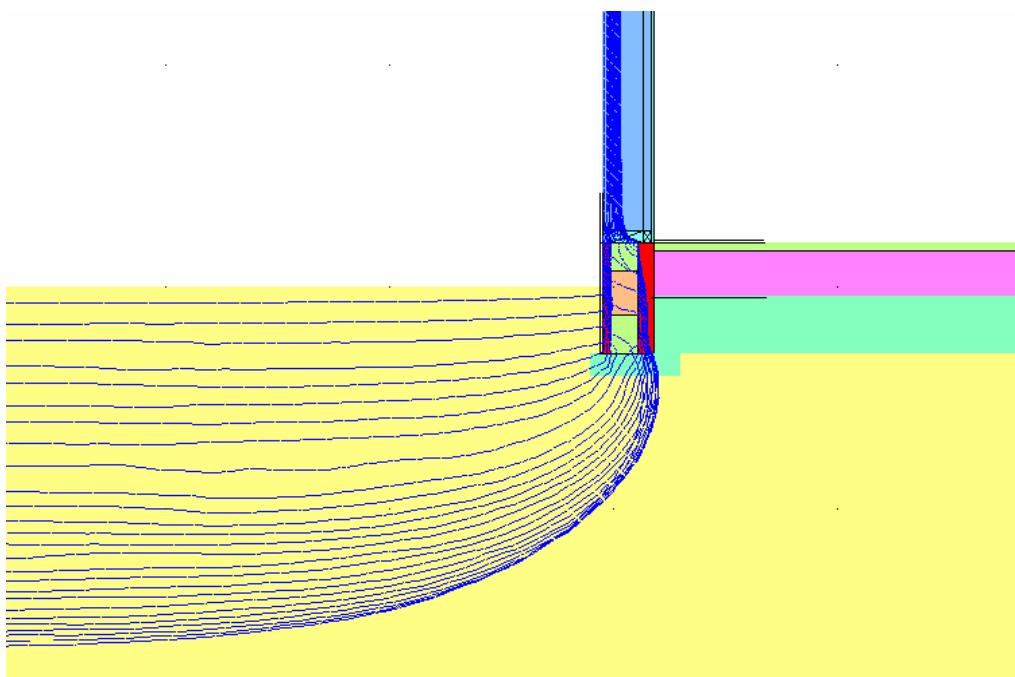
Lokalt kan en også ha store variasjoner når det gjelder grunnmaterialenes sammensetning, svingninger i grunnvannstanden og dermed varierende fuktforhold i grunnen. Dette er forhold som påvirker grunnens varmemotstand og varmekapasitet og bidrar til å jevne ut temperatursvingningene i grunnen. Selv for meget store bygninger vil det derfor være nødvendig å ha en viss minste tykkelse på gulvisolasjonen sentralt i bygget, som kan kompensere for denne usikkerheten. Det vil også ta en relativt lang tid å varme opp massene i grunnen. I oppvarmingsperioden kan uakseptabelt høyt varmetap og lave gulvtemperaturer oppstå. Samtidig er det viktig å sikre, ved hjelp av tilstrekkelig ringmursisolasjon, at en unngår kuldebro i ringmurtoppen som direkte påvirker gulvtemperaturene i randsonen. Med andre ord må det stilles spesifikke krav til selve gulv på grunnen konstruksjonen, uavhengig av grunnens egenskaper.

Ved ikke-stasjonære beregninger har vi som regel gjennomført beregningene over en fire års periode. Dette er gjort for å sikre at forholdene i grunnen til en viss grad er stabilisert. Vi har dermed tatt hensyn til at det er bygget opp et varmemagasin i øvre deler av grunnen. Som initialtilstanden i grunnen har vi normalt brukt en stasjonær temperaturfordeling og startet beregningen om høsten.

Ved beregning av varmetap er dette foretatt i en periode med dimensjonerende effekttap der tapet er tilnærmet størst i randsonen. Dette vil på grunn av grunnens store varmekapasitet inntreffe noe faseforskjøvet (ca. 20 døgn) i forhold til endringer i utelufttemperaturen. For å kunne sammenlikne ulike randson utførelser er varmetapet under dimensjonerende forhold beregnet i en randson på 0,5 m. I denne sonen har en de største svingningene i jordtemperaturen, og gulvkonstruksjonen har direkte kontakt med uteluften via ringmurselementet. Hurtige temperatursvingninger (tredøgnsvariasjoner) vil kunne slå gjennom ringmuren dersom denne er utilstrekkelig isolert. Det vanlige ved frostsikringsberegninger er å bruke fem døgns middeltemperaturer for år med maksimal frostmengde som klimareferanse. Vi har også kontrollert ringmurens isolasjonstykkelse og dermed kuldebroegenskaper ved å påføre fundamentet dimensjonerende tredøgns

middeltemperatur. Dette er gjort på den måten at vi under en periode med dimensjonerende effekttap har senket uttemperaturen til laveste dimensjonerende temperatur i en tredøgnsperiode.

På grunn av beskjedent varmetap til grunnen fra en godt isolert gulvflate, vil det også ved relativt moderate klimaforhold være nødvendig å bruke horisontal markisolasjon i telefarlig grunn. Markisolasjonens primære oppgave er å hindre frostnedtrengning i telefarlige masser under ringmursfundamentet. Dette er nødvendig for å unngå telehiv på husfundamentene. Imidlertid er det et spørsmål om gjennomfrysning bør tillates, spesielt i de nedre delene av ringmuren i ikke-telefarlig grunn. Gjennomfrysning vil øke varmetapet i randsonen og utsette innstikks- og bunnledninger for frost. Bruk av markisolasjon vil generelt dempe temperatursvingningene i grunnen, og har derfor også innflytelse på varmetapet i randsonen og gjennomfrysning av ringmuren.



Figur 3.23

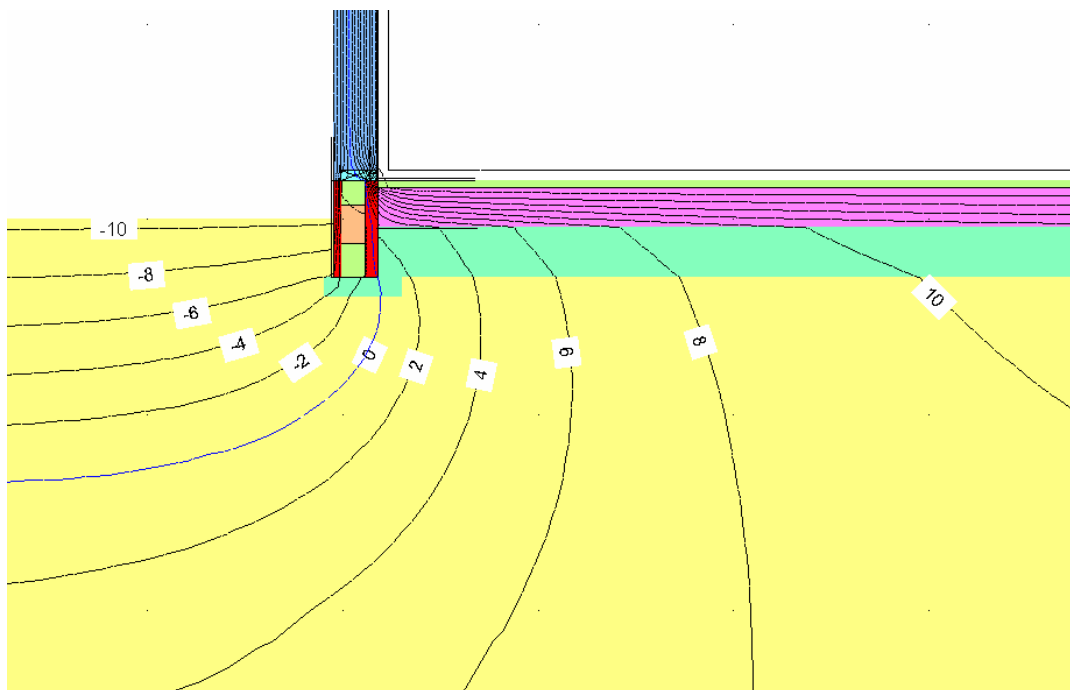
Beregning av frostnedtrengning i telefarlig grunn over frosts sesongen med angivelse av maksimal frostnedtrengning. Forløpet til frostnedtrengningen er inntegnet for hvert 5. døgn frem til dimensjonerende forhold. Det er brukt Oslo-klima med frostmengde 25000 h°C, årsmiddeltemperatur 6,0°C og et harmonisk utelufttemperatur forløp som referanse. Grunnen består av silt med pukk under gulvisolasjon og ringmur. Den modifiserte ringmursløsningen gitt i Figur 3.8 er brukt som utgangspunkt for beregningene. Gulvisolasjonens tykkelse er 200 mm. Varmetapet fra gulvoverflaten pr. løpemeter ringmur i en bredde på 0,5 m under dimensjonerende forhold er beregnet til 3,16 W/m

Figur 3.23 viser beregning av frostnedtrengningen i grunnen under frostperioden hvert 5. døgn for den aktuelle fundamenteringsløsningen i Figur 3.8.

Figur 3.24 viser temperaturfordelingen i randsonen i perioden med størst varmetap og Figur 3.25 viser tilsvarende temperaturfordelingen lenger nede i grunnen. Det er brukt Oslo-klima som referanse. Maksimal frostmengde for Oslo er 25 000 h°C og årsmiddeltemperatur ca. 6,0 °C.

Med et harmonisk utelufttemperatur forløp vil laveste femdøgns middeltemperatur for Oslo i år med maksimal frostmengde være – 11,5 °C. Laveste tredøgnsstemperatur eller dimensjonerende temperatur for Oslo er – 20 °C. Som grunnmaterialer er det igjen brukt silt som har en varmeledningsevne i ufrosset tilstand på 1,7 W/mK og i frosset tilstand

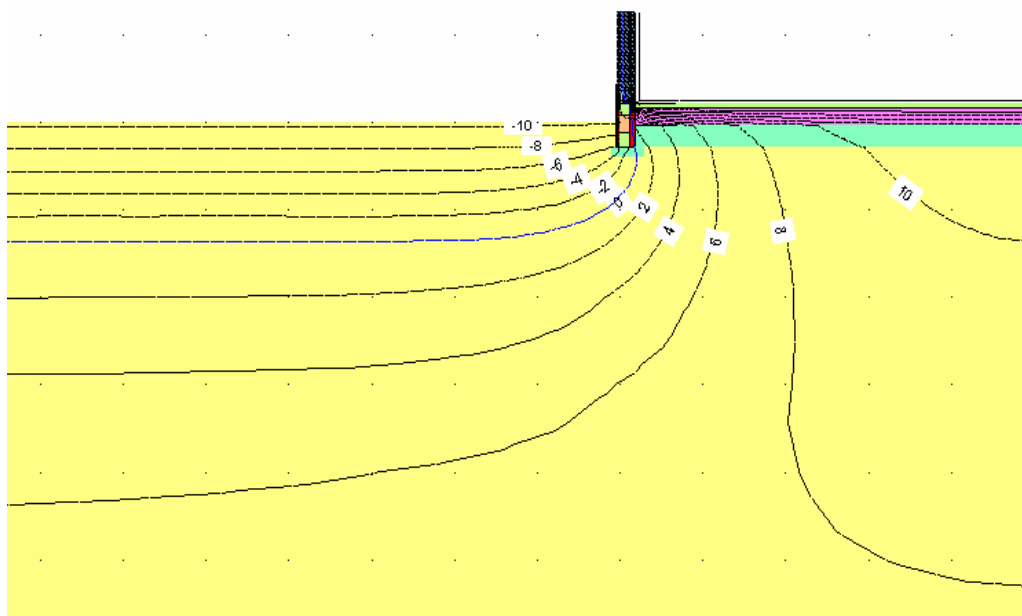
2,75 W/mK. For siltmaterialene er det regnet med et vanninnhold på 22 vekt%. Beregningene viser at frostnedtrengningen med Oslo klima i det aktuelle grunnmaterialet (silt) vil ligge på ca. 1,7 m i snøfri ubebygde mark og at frosten trenger under ringmursfundamentet, se Figur 3.23.



Figur 3.24

Temperaturfordelingen rundt ringmurselementet i en periode med maksimalt varmetap i randsonen. Varmetapet fra gulvoverflaten pr. løpemeter ringmur i en bredde på 0,5 m under dimensjonerende forhold er beregnet til 3,16 W/m

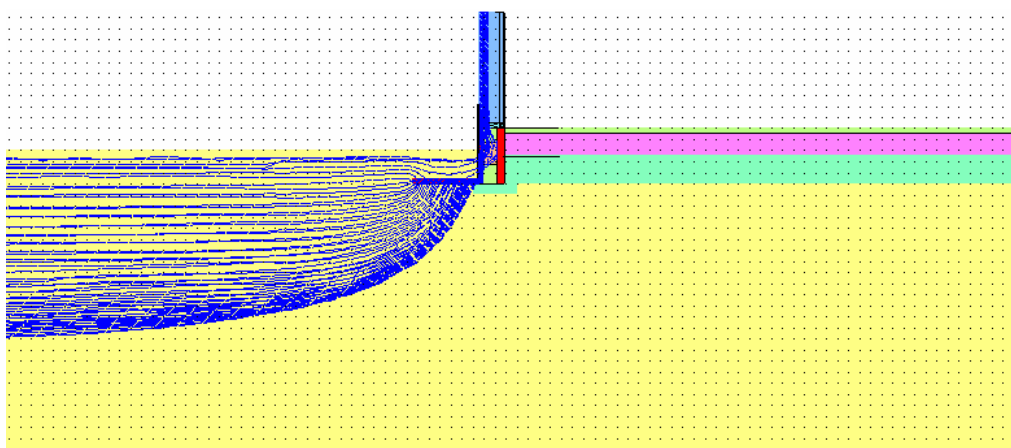
Sålen under ringmurselementet og materialene under gulvisolasjon består normalt av finpukk som har relativt lav varmeledningsevne (0,6 W/m) og stor porøsitet (ca. 40%). Tykkelsen på pukklaget kan variere og er velegnet for magasinering og transport av overvann. Magasinet er også tilgjengelig under vinterforhold for tilførsel av smeltevann fra flate takkonstruksjoner for videre perkolasjon (siling) i grunnen. Frost i grunnen under ringmursfundamentet vil gi fare for telehiv og krever frostsikringstiltak, for eksempel bruk av markisolasjon. Det er en uheldig løsning å redusere isolasjonsmengden i randsonen og dermed tillate større varmetap for å hindre frostproblemer. Dersom lave temperaturer på gulvoverflaten i randsonen skal unngås, bør isolasjonstykkelsen økes og jordvarmen utnyttes til å frostsikre fundamentet analogt med frostsikring av uoppvarmede bygninger (se Byggforskserien Byggedetaljer 521.811 [20]).



Figur 3.25

Varmefordelingen dypere ned i grunnen under en periode med størst varmetap i randsonen

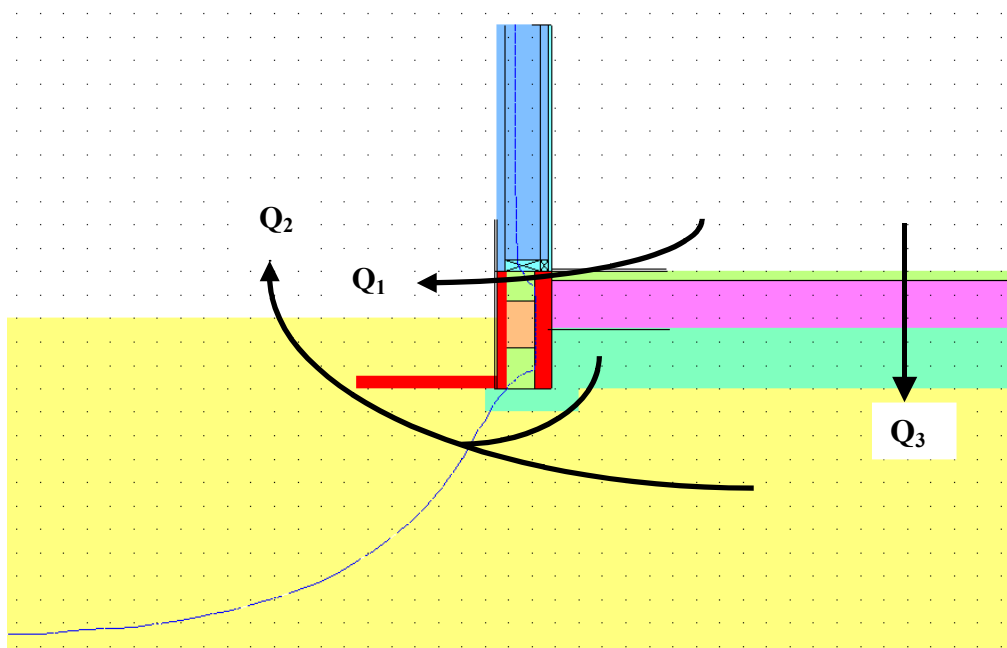
Figur 3.26 viser tilsvarende beregning av frostnedtrengningen over frostsesonen i telefarlig grunn med bruk av 600 mm bred og 50 mm tykk ekstrudert polystyren (XPS) som markisolasjon. Frostsonen er nå trukket lenger bort fra ringmursfundamentet og som dermed er gjort frostsikkert. Gjennomfrysning av ringmuren unngås også.



Figur 3.26

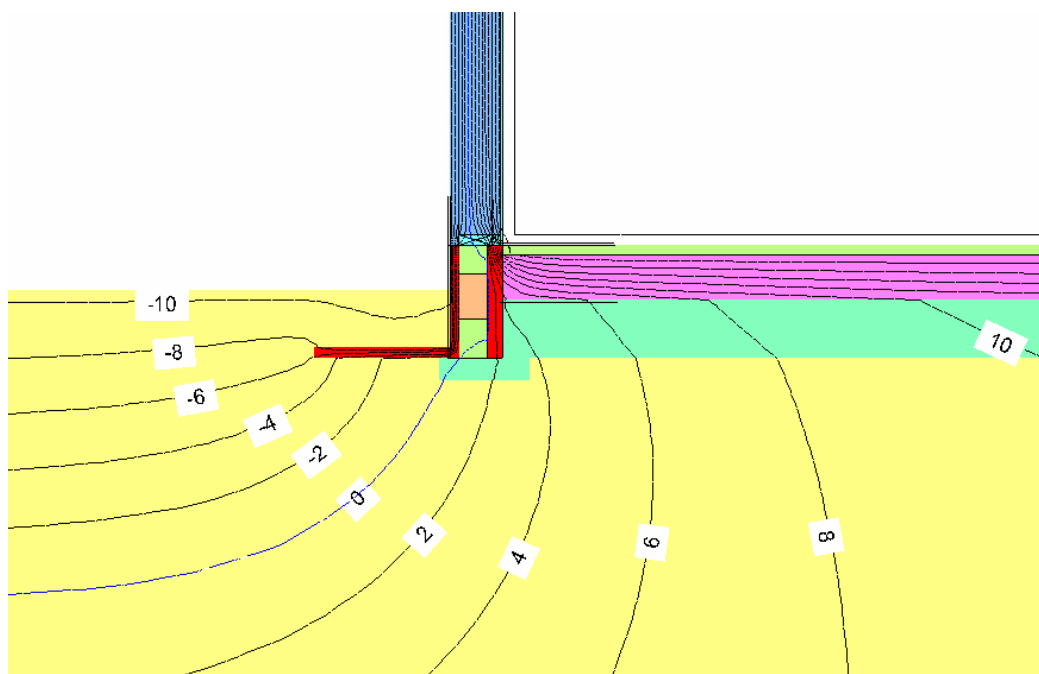
Frostnedtrengningen med bruk av 600 mm bred og 50 mm tykk markisolasjon. Materialene i grunnen er silt. Vi ser at temperaturbildet er vesentlig endret. Frostsonen er trukket lenger ut fra ringmursfundamentet, som dermed er gjort frostsikkert. Maksimalt varmetap i en 0,5 m bred randzone pr. løpeter ringmur er beregnet til 2,92 W/m

Figur 3.27 viser aktuelle varmestrømsbaner rundt ringmurselementet. Varmestrømsbanen gjennom ringmurtoppen Q_1 påvirkes av kortvarige temperatursvingninger, mens varmestrømmen Q_2 og Q_3 vil være avhengig av grunnmaterialenes og gulvets varmetekniske egenskaper. Da frosne jordmaterialer ofte har vesentlig høyere varmeledningsevne enn ufrosne jordmaterialer er det viktig at frostsonen trekkes så langt ut fra fundamentet som mulig. Til dette brukes markisolasjon. Varmestrømsbanen Q_2 involverer masser med stor varmekapasitet og vil derfor påvirkes av mer langsomme temperatursvingninger.

**Figur 3.27**

Vesentlige varmestrømsbaner. For å unngå lave gulvtemperaturer i randsonen som også påvirkes av relativt hurtige temperatursvingninger, er det særlig viktig å begrense varmestrømmen gjennom ringmurtoppen ved å sikre tilstrekkelig ringmursisolasjon. I tillegg er det en fordel om gulvmaterialene over gulvisolasjonen har lav varmeledningsevne i randsonen

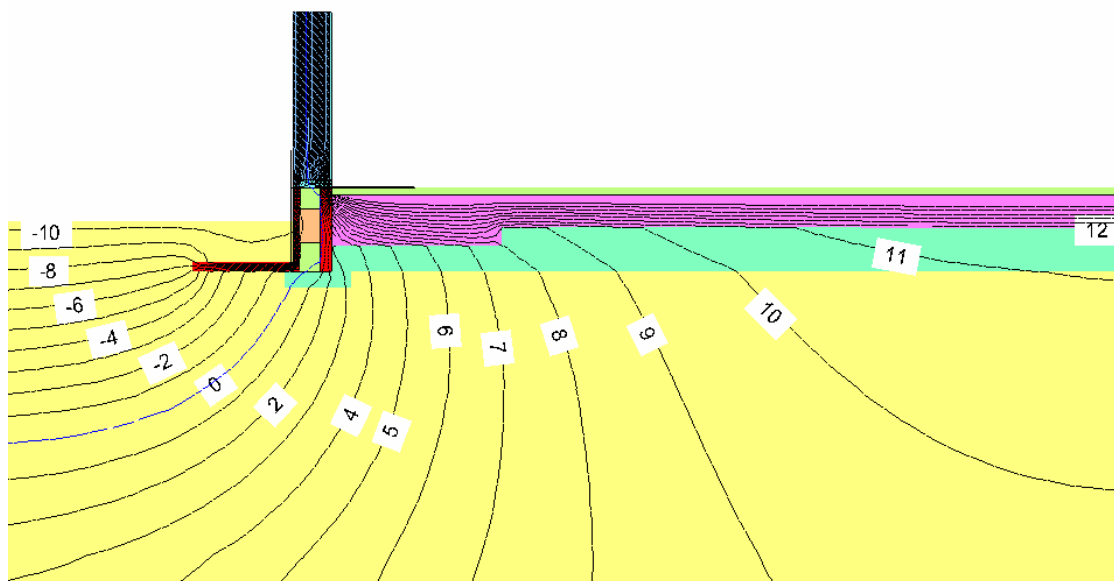
Figur 3.28 viser temperaturfordelingen rundt ringmuren med markisolasjon i perioder med størst varmetap i randsonen.



Figur 3.28

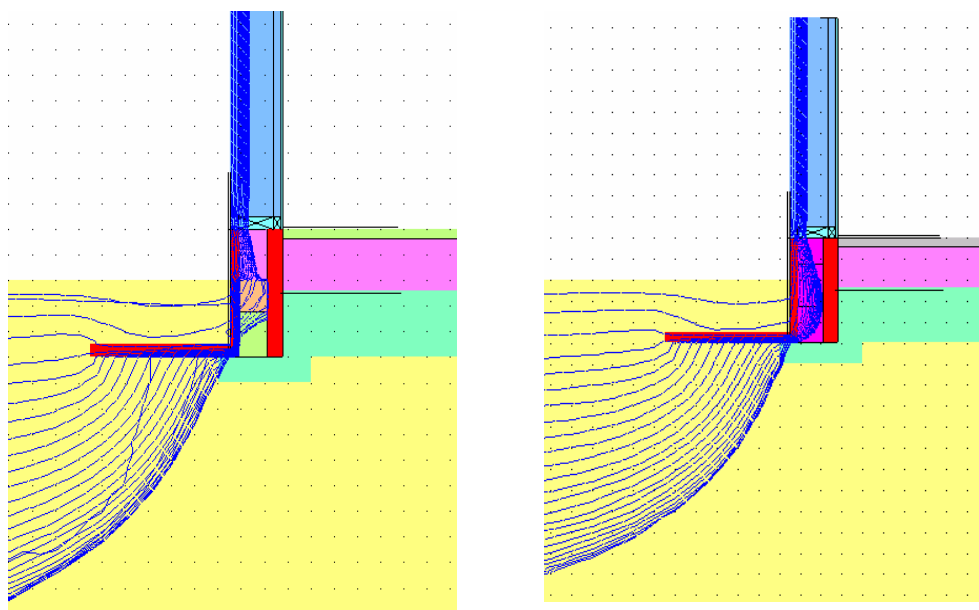
Varmefordeling i grunnen under perioder med størst varmetap i randsonen. Det fremgår at fundamentet er frostsikkert med en markisolasjon med bredde 0,6 m og tykkelse 50 mm. Maksimalt varmetap i en 0,5 m bred randsonen er beregnet til 2,92 W/m. Ytre isolasjonsvange demper temperatur amplitudene og indre isolasjonsvange tjener som en effektiv kuldebrobryter

Ved å øke tykkelsen på gulvisolasjonen med 100 mm til samlet 300 mm i en bredde på en meter, vil dimensjonerende varmetap i en 0,5 m bred randzone reduseres til 2,67 W/m (eller med vel 9 %), se Figur 3.29.



Figur 3.29

Ved å øke tykkelsen på gulvisolasjonen til 300 mm i en bredde på 1,0 m i randsonen reduseres dimensjonerende varmetap i randsonen med 9 % til 2,67 W/m. Markisolasjonen sørger stadig for å frostsikre ringmursfundamentet



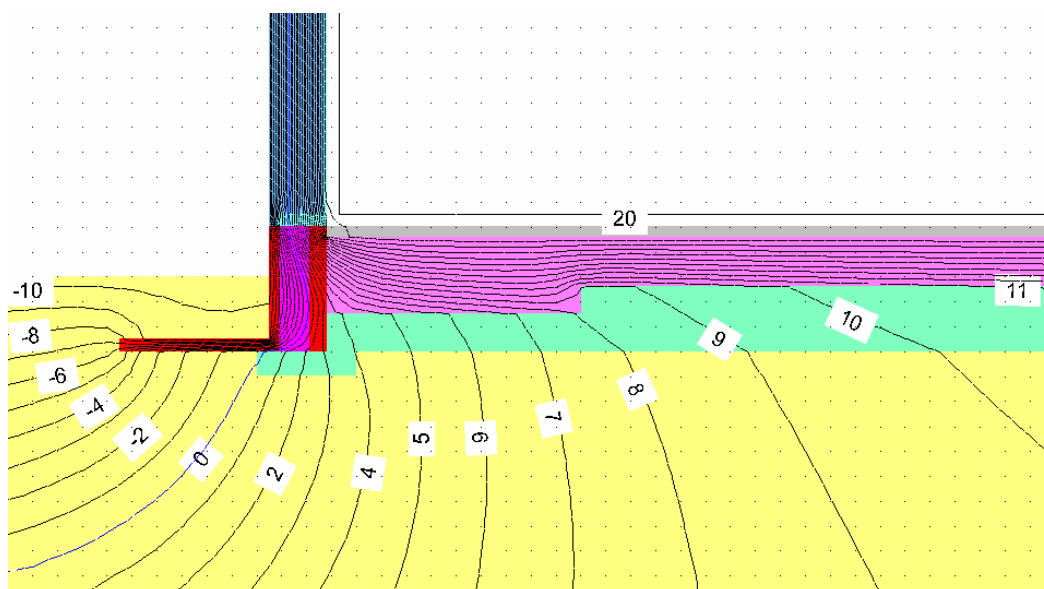
Figur 3.30

Ringmurselement der betongkjernen i hele elementet (til høyre) eller i de øverste 200 mm av ringmurstoppen (til venstre) erstattes med isolasjon (rosa farge). Maksimalt varmetap i en 0,5 m bred randzone er i begge tilfeller beregnet til 2,32 W/m

I Figur 3.30 er all betong i ringmurselementet erstattet med isolasjon. Betongen i ringmurstoppen vil dermed ikke representere en kuldebro. Samlet isolasjonstykkelse for ringmurselementet er økt fra 110 til 230 mm. Maksimalt varmetap i en randzone på 0,5 m reduseres dermed fra 2,92 W/m til 2,32 W/m eller med ca. 26%. Tilsvarende reduksjon av

varmetapet oppnås selv om bare de øverste 200 mm øvre del av betongkjernen i ringmuren erstattes med isolasjon. Ikke-stasjonære beregninger bekrefter derfor viktigheten av å bruke en god ringmursisolasjon og da særlig i ringmurtoppen.

Figur 3.31 viser temperaturfordelingen i grunnen under dimensjonerende forhold når tykkelsen på gulvisolasjonen er økt til 300 mm i en bredde på 1,0 m. Samtidig er ringmursisolasjonen økt fra 110 til 230 mm. En oppnår dermed en reduksjon i varmetapet i en 0,5 m bred randsonen i forhold til referansekonstruksjonen med markisolasjon på hele 41% til 2,06 W/m.

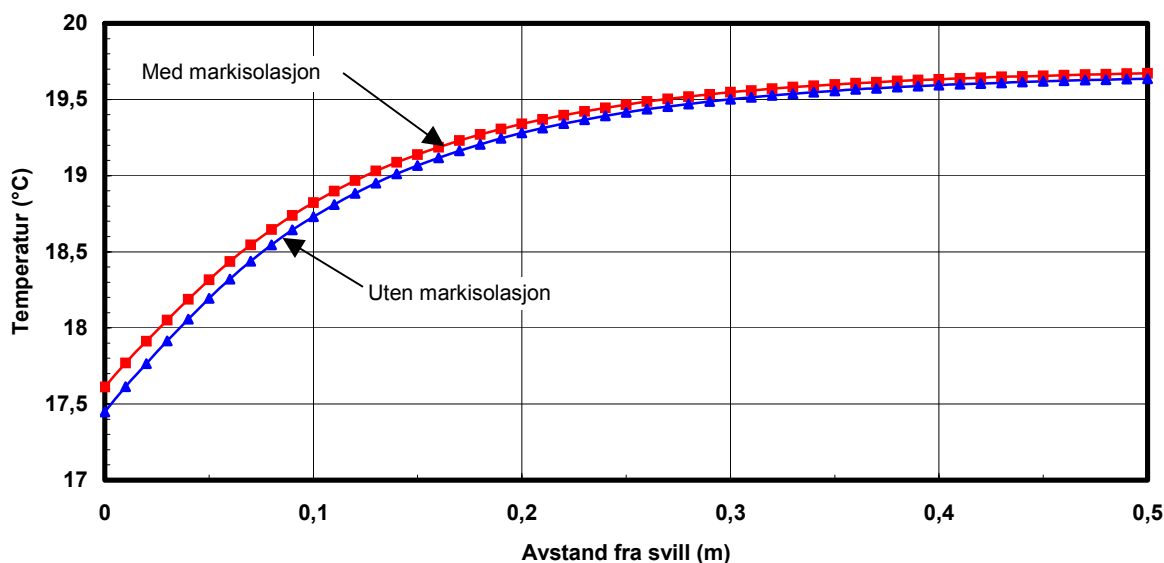


Figur 3.31

Ved å øke tykkelsen på gulvisolasjonen til 300 mm i en bredde på 1,0 m i randsonen og samtidig øke tykkelsen på ringmursisolasjonen fra 110 til 230 mm reduseres dimensjonerende varmetap i randsonen med 41% til 2,06 W/m

Figur 3.32 viser temperaturfordelingen på gulvoverflaten under forhold med dimensjonerende frostnedtrengning i grunnen med og uten bruk av markisolasjon i telefartlig grunn. Det fremgår her at markisolasjonen hever gulvtemperaturene noe i hele randsonen, med størst heving 0,2°C nær ringmurselementet.

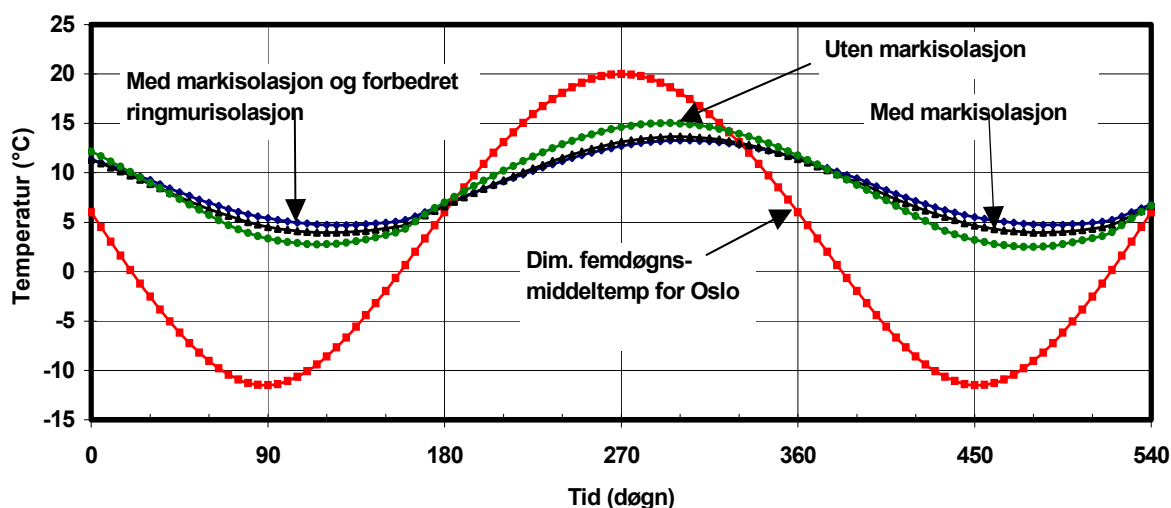
Figur 3.33 viser hvordan markisolasjonen demper temperatursvingningene i grunnen umiddelbart under gulvisolasjonen og 20 mm innenfor ringmurselementet. Figuren viser også temperatursvingningene over året når ringmursisolasjonen er økt fra 110 til 230 mm og det samtidig er brukt markisolasjon.



Figur 3.32

Temperaturfordelingen på gulvoverflaten med og uten markisolasjon under en periode med maksimalt varmetap i randsonen i telefarlig grunn. Det fremgår her at bruk av markisolasjon hever gulvtemperaturene i hele randsonen

Beregningene er foretatt etter en periode på totalt 4 år og viser at selv umiddelbart innenfor ringmuren vil temperatursvingningene ha en faseforskyvning på ca. en måned. Markisolasjon vil dempe mer langsiktige temperatursvingninger. En økning i ringmurstykkelsen har særlig betydning med hensyn til å redusere kuldebroen i ringmurtoppen, en kuldebrovirkning som påvirkes av hurtigere temperatursvingninger.



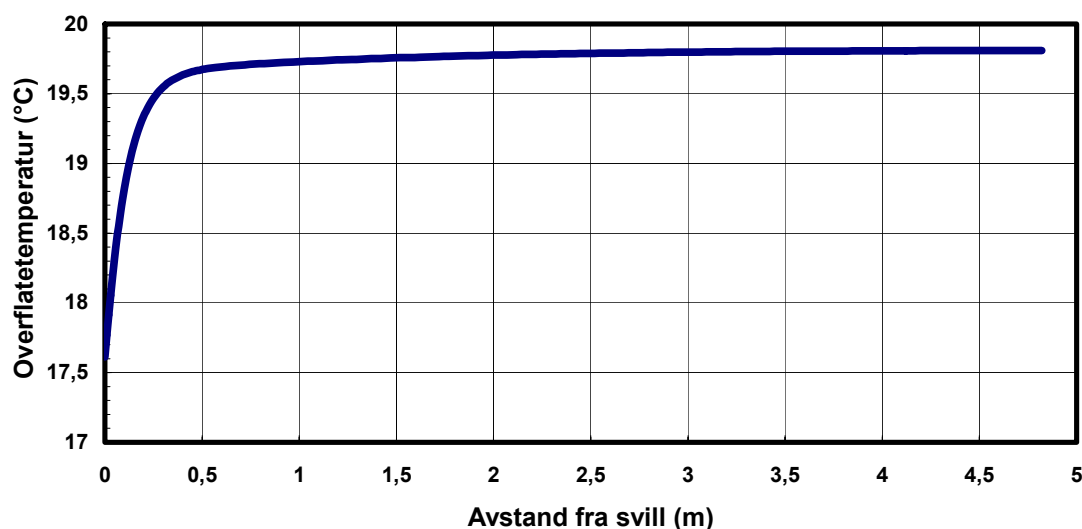
Figur 3.33

Temperatursvingninger i grunnen under gulvisolasjonen umiddelbart innenfor modifisert ringmursløsning gitt i Figur 3.8 med og uten bruk av markisolasjon, og med markisolasjon og forbedret ringmursisolasjon (fra 110 til 230 mm). Faseforskyvningen når det gjelder temperatursvingningen i grunnen umiddelbart innenfor ringmuren ligger på ca. en måned

Maksimalt varmetap i en 0,5 m bred randzone fra ringmuren for gulvkonstruksjonen uten markisolasjon er beregnet til 3,16 W/m. Tilsvarende beregninger med markisolasjon gir et varmetap på 2,92 W/m, en reduksjon i varmetapet på vel 8,0%. På grunn av relativt tykk gulvisolasjon (200 mm), vil det bare være en relativt smal randzone mot ringmuren der overflatetemperaturene er påvirket av markisolasjonen. Ved bruk av mindre tykkelse på gulvisolasjonen vil markisolasjonens innflytelse på varmetapet være betydelig større.

Figur 3.34 viser temperaturfordelingen på gulvoverflaten inntil 5 m fra svillen under dimensjonerende forhold med størst varmetap i randsonen. Dette gjelder for modifisert ringmursløsning med markisolasjon (se Figur 3.8). Endringer i overflatetemperaturen fra 0,5 m til 5 m fra svillen er bare 0,1°C og temperaturen på gulvoverflaten 5 m inn fra svillen er 19,8°C. Innelufttemperaturen er 20°C.

Spesifikt varmetap midt inne på gulvet er tilnærmet konstant over året og ligger på 1,52 W/m². Det er derfor bare i en smal randzone vi har endringer i temperaturen over året. Når det tas hensyn til varmetapet i randsonen (med bredde 0,5 m) som under dimensjonerende forhold ligger på 2,92 W/m², eller et spesifikt varmetap på 5,84 W/m², vil gjennomsnittlig spesifikt varmetap for en bygning med grunnflate 10 x 10 m under dimensjonerende forhold ligge på 2,1 W/m². Dette spesifikke varmetapet ligger 22% høyere enn gjennomsnittet over året. Tilsvarende vil varmetapet i en 0,5 m bred randzone ligge ca. 68% høyere under dimensjonerende forhold. Beregningen viser det uheldige med å operere med gjennomsnittlig spesifikke varmetap i dimensjoneringssammenheng. Det vil generelt være randsonens varmetap som er dimensjonerende.

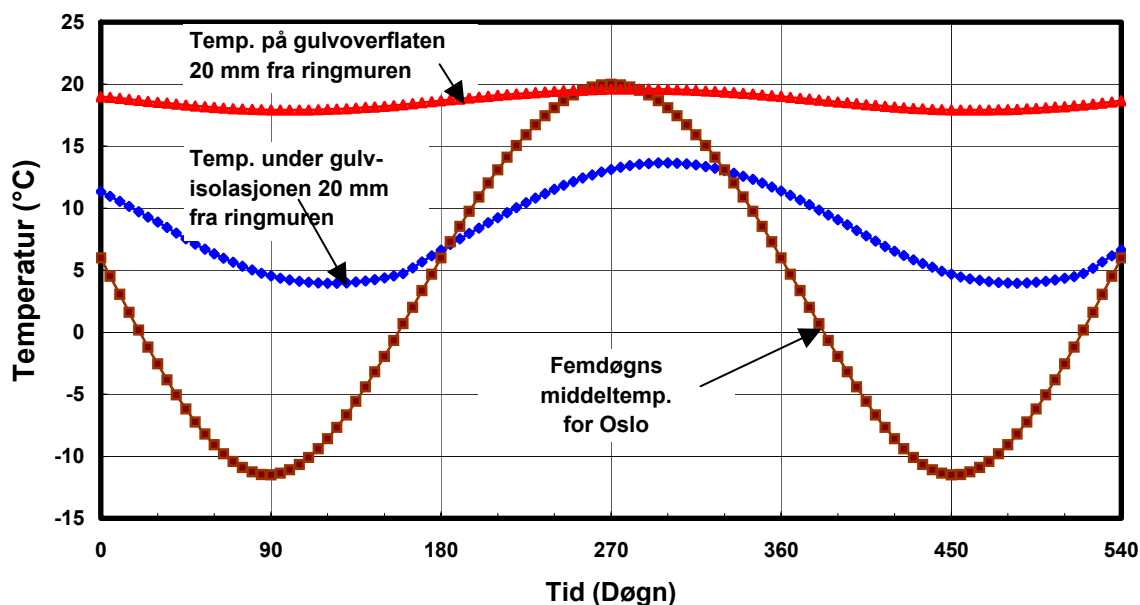


Figur 3.34

Temperaturfordelingen over gulvoverflaten under dimensjonerende forhold fra svillen og 5 m inn på gulvet. Det er brukt markisolasjon. Endringer i overflatetemperaturen fra 0,5 m til 5 m fra svillen er 0,1°C

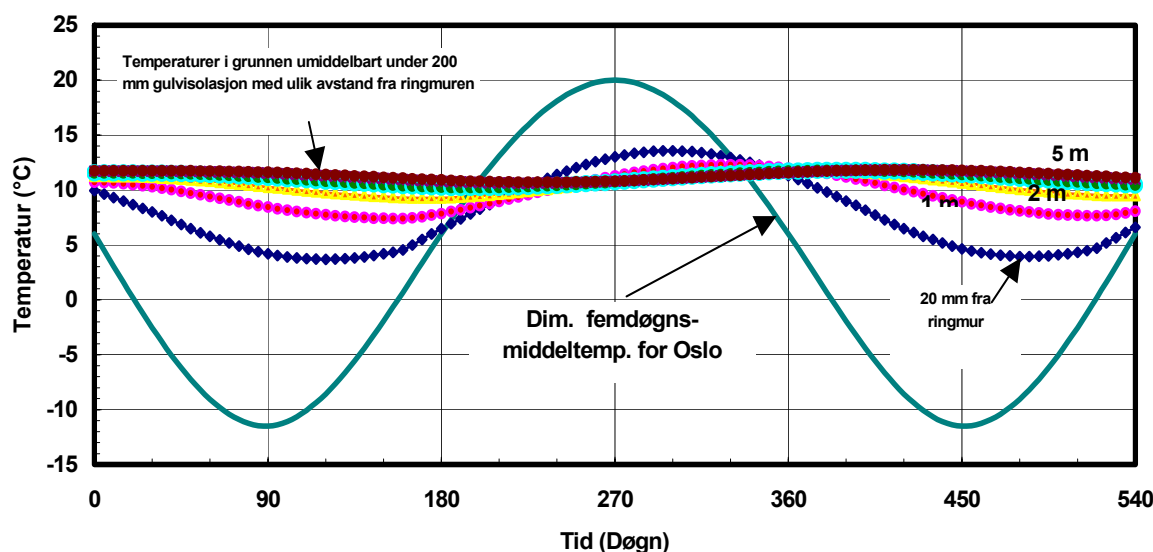
Figur 3.35 viser temperaturfordelingen over og under gulvisolasjonen 20 mm innenfor ringmuren. Dette viser hvor effektivt gulvisolasjonen demper temperatursvingningene på gulvoverflaten. Temperatursvingningene på gulvoverflaten 20 mm fra ringmuren varierer bare med 1,7°C over året. Under forutsetning av en innelufttemperatur på 20°C vil maksimal temperatur under sommerforhold være lik 19,6°C og minimumstemperatur under vinterforhold 17,9°C. Under gulvisolasjonen vil tilsvarende temperatursvingningene over året 20 mm fra ringmuren variere med 9,7°C. Høyeste temperatur under sommerforhold vil være 13,7°C og laveste temperatur om vinteren er 4,0°C. Vi ser da sett bort fra kortere perioder med dimensjonerende lave utelufttemperaturer. Fem meter inn fra ringmuren vil

temperaturen over året for massen umiddelbart under gulvisolasjonen bare variere med $1,1^{\circ}\text{C}$, fra $11,9^{\circ}\text{C}$ under sommerforhold til $10,8^{\circ}\text{C}$ under vinterforhold.



Figur 3.35

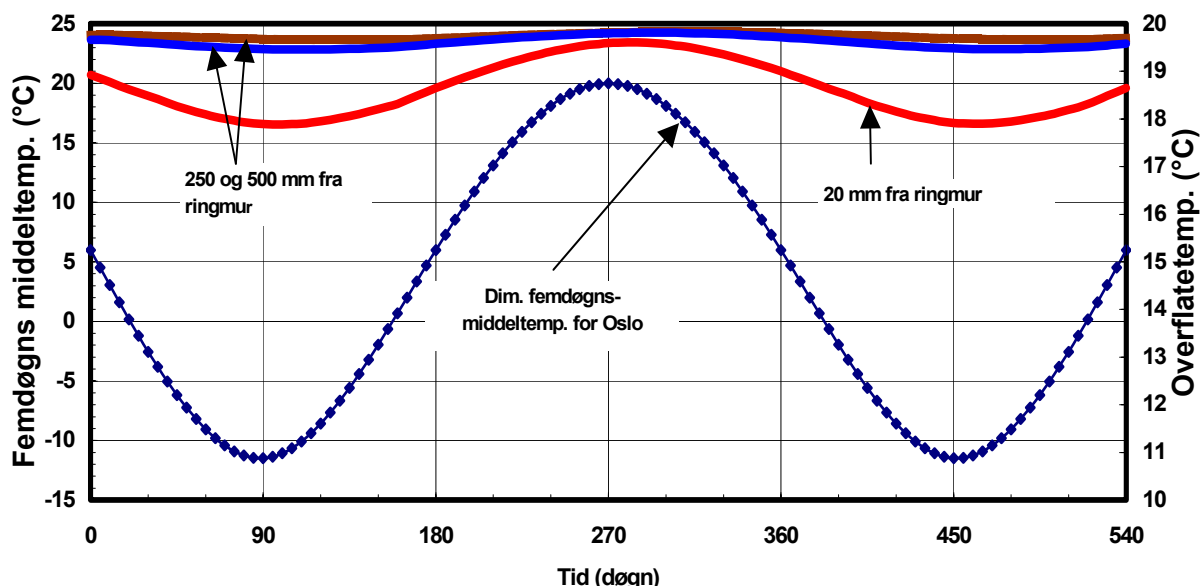
Ringmur med markisolasjon. Temperaturfordelingen 20 mm innenfor ringmuren over og under gulvisolasjonen



Figur 3.36

Temperatursvingninger over året i grunnen umiddelbart under 200 mm gulvisolasjon med ulike avstander fra ringmuren. Det er brukt ringmurselement (Figur 3.8) med markisolasjon

På gulvoverflaten over gulvisolasjonen vil temperaturforholdene være nær konstante over året med en overflatetemperatur på $19,8$, se Figur 3.36 og Figur 3.37. Lufttemperaturen er da forutsatt konstant lik 20°C over året. Figur 3.36 viser temperatursvingningene i grunnen umiddelbart under 200 mm gulvisolasjon i ulike avstander fra ringmurselementet for modifisert ringmursløsning i Figur 3.8 med markisolasjon. Det fremgår her at temperatursvingningene i grunnen dempes hurtig innover gulvflaten fra svillen.



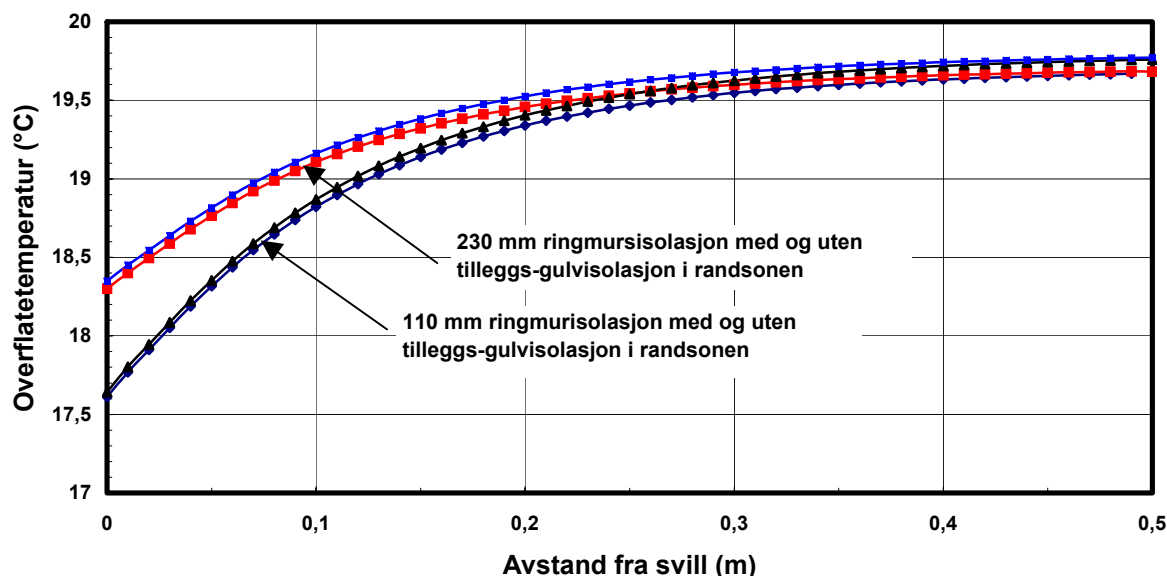
Figur 3.37

Temperatursvingninger på gulvoverflaten over året i en avstand fra ringmuren på 20, 250 og 500 mm viser at varmetapet fra et godt isolert gulv på grunnen vesentlig er et randsoneproblem. Romtemperaturen er 20 °C

Figur 3.37 viser temperatursvingningene på gulvoverflaten over året i en avstand fra ringmuren lik 20, 250 og 500 mm. Gulvisolasjonen vil ytterligere dempe temperatursvingningene på gulvoverflaten. Dette understreker igjen at varmetapet fra et godt isolert gulv på grunnen vesentlig er et randsoneproblem. Allerede i en avstand fra ringmurselementet på 250 mm vil svingningene i temperaturen på gulvoverflaten over året som skyldes varmetap bare ligge i størrelsesorden 0,3 °C. Det ses da bort fra direkte solinnstråling som vil kunne varme opp gulvflaten. Figuren viser at en halv meter inn fra ringmuren vil temperaturforholdene være tilnærmet konstante over året.

For referansekonstruksjonen, Figur 3.8, er samlet isolasjonstykkelse i ringmuren lik 110 mm, fordelt med 40 mm utvendig og 70 mm innvendig isolasjon. Da betongkjernen i ringmurselementet vil virke som en kjøleribbe, og fjerne varme fra ringmurssålen, er det viktig at ytre isolasjonsvange ikke er for tynn. Ved bruk av innvendig ringmursisolasjon vil det derfor normalt være nødvendig å isolere betongkjernen mot grunnen. Det fremgår samtidig at redusert varmetap fra gulvoverflaten, på grunn av forbedret ringmursisolasjon, har liten påvirkning på frostnedtrengningen i randsonen. Her vil bruk av markisolasjon være helt dominerende for å få trukket frostsonen bort fra ringmursfundamentet.

Den kuldebroen som representeres av betongkjernen i ringmurselementet har innflytelse på gulvtemperaturene ca. 300 mm inn fra ringmuren og senker overflatetemperaturen umiddelbart innenfor ringmuren med 0,7 °C, se Figur 3.38. Ved bruk av smalere vegg med svill uten kuldebrobryter vil denne temperaturforskjellen bli vesentlig større. Dette viser at gulvets varmetap i randsonen er meget følsomt for utførelsen. Dette omfatter veggbredder og detaljutførelsen i overgangen vegg/ringmur/gulv, bruk av markisolasjon og samlet tykkelse på ringmursisolasjonen.



Figur 3.38

Temperaturer på gulvoverflaten fra svillen og 0,5 m inn på gulvflaten under dimensjonerende forhold. Ringmursisolasjonen har tykkelsen 110 og 230 mm og gulvisolasjonen har tykkelsen 200 mm og 300 mm i en bredde på 1,0 m. Det er brukt 600 mm bred og 50 mm tykk markisolasjon

Det fremgår av Figur 3.38 at ved å øke tykkelsen på ringmursisolasjonen vil gulvtemperaturen i randsonen øke. Tilsvarende vil en økning i tykkelsen på gulvisolasjonen med 100 mm i en bredde på 1,0 m medføre en reduksjon i randsonens bredde. Allerede 250 mm inn fra svillen er gulvtemperaturen steget til ca. 19,5 °C.

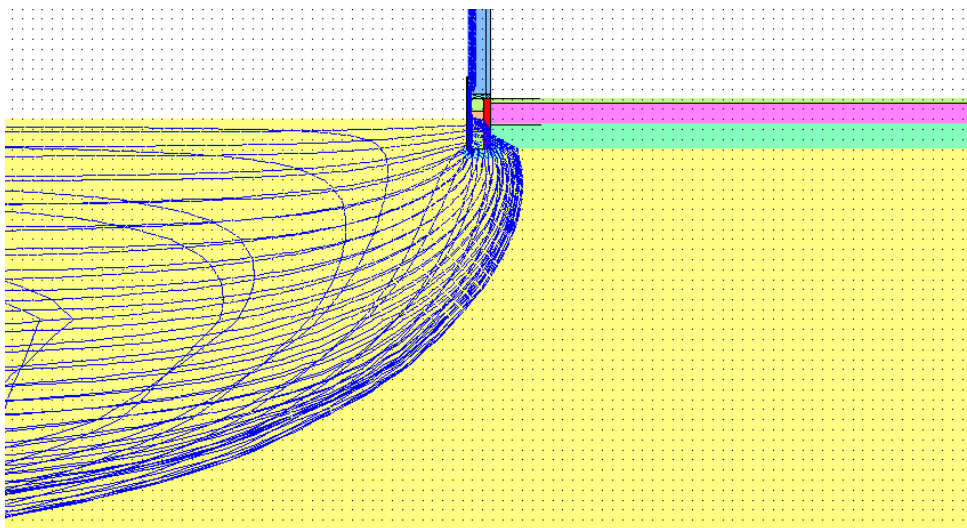
Med utgangspunkt i modifisert ringmursløsning presentert i kapittel 3.2 (Figur 3.8) vil samlet innflytelse av en bedre ringmursisolasjon og bruk av markisolasjon redusere maksimalt varmetap i randsonen med ca. 27%. Dersom en samtidig øker tykkelsen på gulvisolasjonen vil tilsvarende reduksjon være hele 41%. En har derfor et relativt stort potensial når det gjelder å forbedre ringmursutførelsen.

En metode for å bestemme tilleggsvarmetap eller kuldebroeffekt for en aktuell ringmursutførelse er å bruke en ideell ringmurskonstruksjon uten kuldebro som referanse, se Byggforskserien Byggedetaljer 521.112 [9]. Da både markisolasjon og tykkelsen på ringmursisolasjonen har relativt stor innflytelse på varmetapet i randsonen, bør en eventuelt som referanseringsringmur velge en utførelse med minimalt varmetap i randsonen (Figur 3.2). Dette bør fortrinnsvis være en utførelse med markisolasjon, der hele ringmuren er erstattet med isolasjon. En er dermed sikret at den virkelige ringmurskonstruksjonen ikke har lavere varmetap i randsonen enn referansekonstruksjonen. Nå vil både tykkelsen på ringmursisolasjonen og markisolasjonens bredde og tykkelse være klimabasert når det gjelder frostsikring. Samtidig vil varmetapet i ringmurtoppen også være følsom for hurtige temperatursvingninger.

Metoden med å bruke en referanse ringmursutførelse uten kuldebro som grunnlag for å bestemme gjennomsnittlig årlig eller nominell U-verdi, og så gi et tillegg i U-verdien på grunn av et tilleggsvarmetap, er uheldig. Dette fordi den gjennomsnittlige årlige U-verdien er koblet mot en konstant årsmiddeltemperatur, mens tilleggsvarmetapet, som delvis skyldes kuldebrovirkningen i randsonen og er årsaken til lave gulvtemperaturer, er koblet mot utelufttemperaturen og påvirkes derfor av hurtige temperatursvingninger.

3.4 Gulv på grunnen i fjellterreng

Dersom en utfører tilsvarende beregninger av frostnedtrengning i fjellterreng, vil innfrysningen av massen under og innenfor ringmuren være betydelig, se Figur 3.39. Frostnedtrengningen i snøfri mark kommer da ned mot fire meter. Frostgjennomslag i nedre deler av ringmuren vil kunne skape problemer for bunnledninger og innstikksledninger. Også i ikke-teleførlig grunn kan det derfor være nødvendig med tiltak for å hindre gjennomfrysning av ringmuren. Dette viser at beregning av temperaturforholdene i grunnen, der en ikke tar hensyn til ulike jordmaterialers reelle termiske egenskaper, inklusiv innfrysningsvarmen for fuktige jordmaterialer, gir for ekstreme forutsetninger.



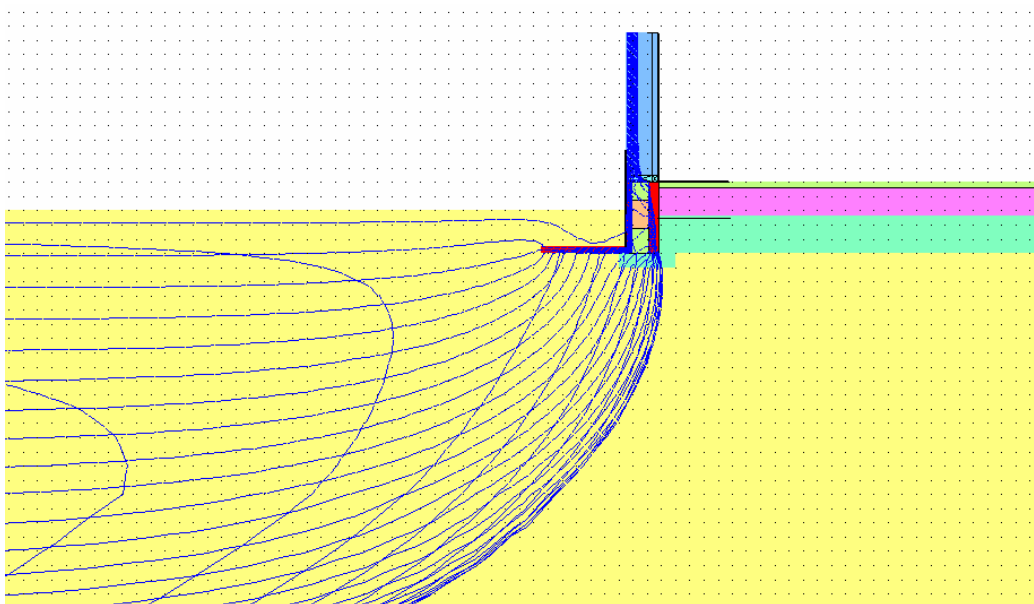
Figur 3.39

I fjellterreng uten snødekke vil frostnedtrengningen i randsonen øke signifikant. Teledybden i snøfri mark kommer da ned mot fire meter og innfrysning av massen innenfor ringmuren er betydelig og kan skape problemer for bunnledningene. Beregnet maksimalt varmetap er 3,39 W/m i en 0,5 m randsoner

Tilsvarende beregninger gjennomført med markisolasjon i fjellterreng (Figur 3.40), viser at en får noe frostnedtrengning i grunnen under fundamentet. Derimot får en ingen frostgjennomslag i nedre deler av ringmuren som kan skape problemer for bunnledningene. Bruk av markisolasjon er derfor meget effektiv til å dempe temperatursvingningene i grunnen også i ikke teleførlig grunn.

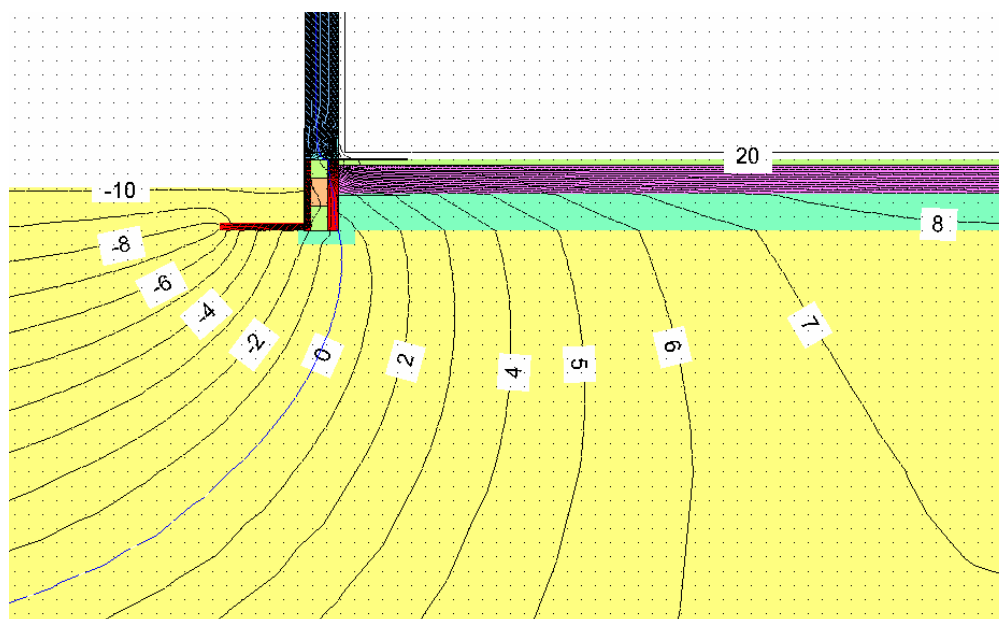
Figur 3.41 viser temperaturfordelingen i grunnen i fjellterreng under en periode med maksimalt varmetap. Varmetapet i en 0,5 m bred randsoner er da beregnet til 3,23 W/m. Bruk av markisolasjon i fjellterreng har redusert maksimalt varmetap i randsonen fra 3,39 W/m til 3,23 W/m, en reduksjon på 5%. Det er også interessant å bemerke at ved bruk av markisolasjon og en tykk ringmursisolasjon vil forskjellen i maksimalt varmetap i randsonen for siltige materialer og fjellgrunn bare være ca. 9%.

Dette bekrefter igjen at for godt isolerte gulv på grunnen konstruksjoner vil store variasjoner i grunnens termiske egenskaper ha relativt beskjeden innflytelse på gulvets varmetap.



Figur 3.40

I fjellterreng med markisolasjon får en noe innfrysning under ringmursfundamentet. Markisolasjonen hindrer derimot gjennomfrysning av ringmuren. Maksimalt varmetap i en 0,5 m bred randsone er beregnet til 3,23 W/m



Figur 3.41

Temperaturforholdene i fjellterreng med bruk av markisolasjon under periode med maksimalt varmetap. Maksimalt varmetap i en 0,5 m bred randsone er beregnet til 3,23 W/m

I fjellgrunn vil en uten bruk av markisolasjon kunne få en betydelig gjennomfrysning av nedre deler av ringmuren, se Figur 3.39. Maksimalt varmetap for en ringmur uten markisolasjon i silt og fjellgrunn i en randsone på 0,5 m, vil da øke fra 3,16 til 3,39 W/m (eller med ca. 7%). Når økningen ikke blir større skyldes dette en tykk ringmursisolasjon (samlet 110 mm) og betydelig tykkelse (200 mm) på gulvisolasjonen i randsonen. Når det ikke brukes markisolasjon, vil materialene i grunnen i tilfellet med tykk gulvisolasjon ha relativt liten innflytelse på varmetapet i randsonen. Dette er imidlertid ikke tilfellet når det gjelder frostnedtrengningen i randsonen. Med bruk av markisolasjon også i fjellterreng reduseres maksimalt varmetap fra 3,39 til 3,23 W/m (eller med ca. 5%). Samtidig unngår en

gjennomfrysning av ringmuren. Dette viser at bruk av markisolasjon også har sin berettigelse i fjellterreng.

I områder med kaldt klima vil bruk av markisolasjon generelt ha betydning når det gjelder varmetap i randsonen, uavhengig av grunnmaterialene, og bør derfor tas med i effekt- og energiberegninger. Beregningene viser også at det kan være hensiktsmessig å øke tykkelsen på gulvisolasjonen og forbedre ringmursisolasjonen og da særlig i ringmurtoppen, tabell 3.4.1.

Stasjonære årlige gjennomsnittsberegninger (med korreksjons for periodisk varmestrøm), der en ikke tar hensyn til innfrysingsvarmen og temperaturavhengige materialeegenskaper for fuktig jordmaterialer, gir for liten dempning av temperatursvingningene i grunnen over året. Dette er spesielt tilfelle ved bruk av markisolasjon. Som vi senere vil vise i et konkret regneeksempel vil dette føre til langt større svingninger i varmetapet over året enn under mer realistiske forhold.

Tabell 3.4.1

Oversikt over beregnet varmetap i en 0,5 m bred randsonen for ulike utførelser og klimabelastning. Utgangspunktet er gulvkonstruksjonen vist på Figur 3.8.

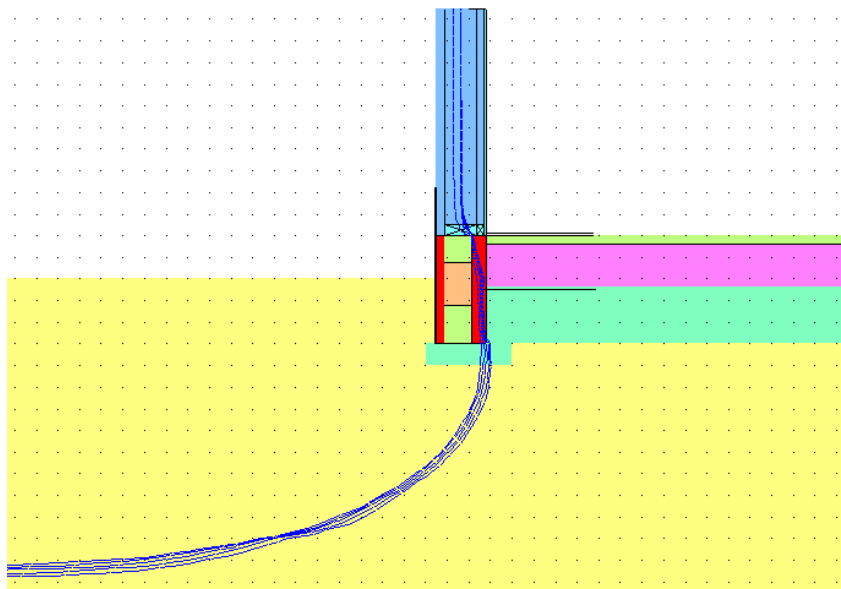
Materialer i grunnen	Varmetap i en 0,5 m bred sone fra svillen (W/m)			
	Uten markisolasjon		Med markisolasjon	
	5 døgns middeltemp.	3 døgns middeltemp.	5 døgns middeltemp.	3 døgns middeltemp.
Silt (1,7/2,75 W/mK) 200 mm gulvisolasjon	3,16	3,46	2,92	3,26
Silt (1,7/2,75 W/mK) 300 mm gulvisolasjon i randsonen			2,67	
Ringmur uten kuldebro (betong). Silt i grunnen.			2,32	2,67
Ringmur uten kuldebro (betong). Silt i grunnen.			2,06	
300 mm gulvisolasjon i randsonen				
Fjell (3,5 W/mK)	3,39		3,23	

Det er generelt lite hensiktsmessig å operere med ulike beregningsmetoder for bestemmelse av varmetap, kuldebroeffekter og frostsikkerhet. Varmetap og frostsikring henger sammen. Det bør derfor utvikles en beregningsmetode som kobler sammen disse elementene.

4 Effektberegninger

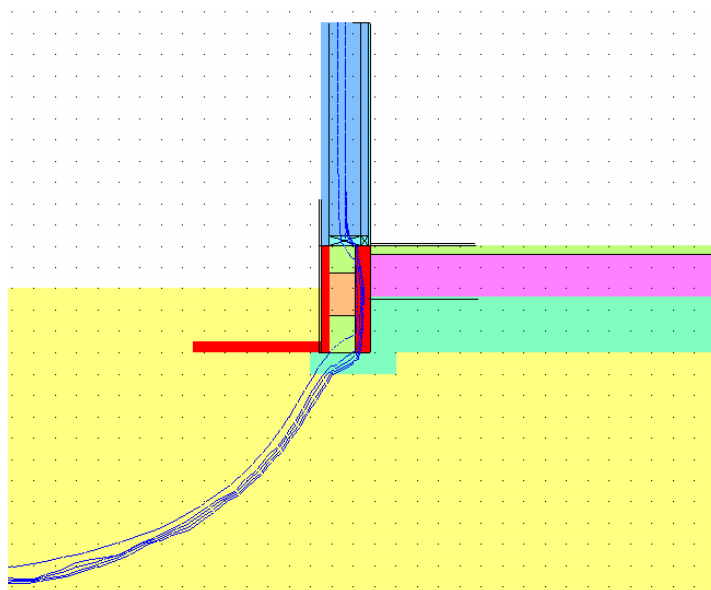
Effektberegninger som underlag for å dimensjonere varmeanlegg tar utgangspunkt i dimensjonerende utelufttemperaturer. For Oslo klima er dimensjonerende tredøgnsstemperatur ca. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kuldebro i ringmurtoppen påvirkes av relativt hurtige temperatursvingninger, og har derfor betydning for dimensjonering av varmeanlegget, særlig for vannbårne lavtemperatur gulvvarmeanlegg.

Figur 4.1 viser hvorledes 0-isotermen påvirkes under en tredøgnsperiode med dimensjonerende uteluftstemperaturer. I beregningene er det forutsatt at dette inntreffer i en periode med lave jordtemperaturer. Det fremgår her at under en kortvarig kuldeperiode vil frosten fortsette å trenge inn bak ringmuren. Beregninger viser at kuldebroen i randsonen øker varmetapet fra randsonen og 0,5 m inn på gulvflaten fra ringmuren til 3,46 W/m. Kortvarige svingninger i utelufttemperaturen øker i dette tilfellet det lokale varmetapet fra 3,16 W/m til 3,46 W/m (eller med ca. 9%).



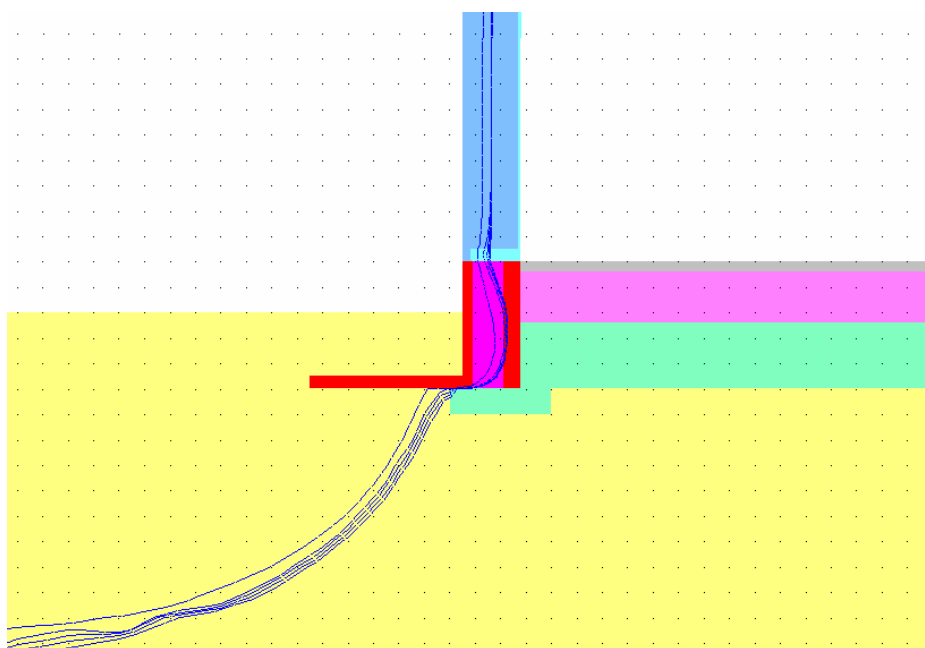
Figur 4.1

Fundament uten markisolasjon i telefarlig grunn. Frostsonens påvirkning under dimensjonerende tredøgnsmiddeltemperatur ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) for Oslo. Varmetapet i en randzone på 0,5 m er beregnet til 3,46 W/m



Figur 4.2

Fundament med markisolasjon i telefarlig grunn under dimensjonerende forhold. Fundamentet er stadig frostsikkert etter tredøgns periode med dimensjonerende utelufttemperaturer, men frosten trenger inn i pukklaget under ringmursfundamentet. Indre isolasjonsvange stopper effektivt frostgjennomslag i ringmur. Varmetapet i 0,5 m bred randzone er beregnet til 3,26 W/m



Figur 4.3

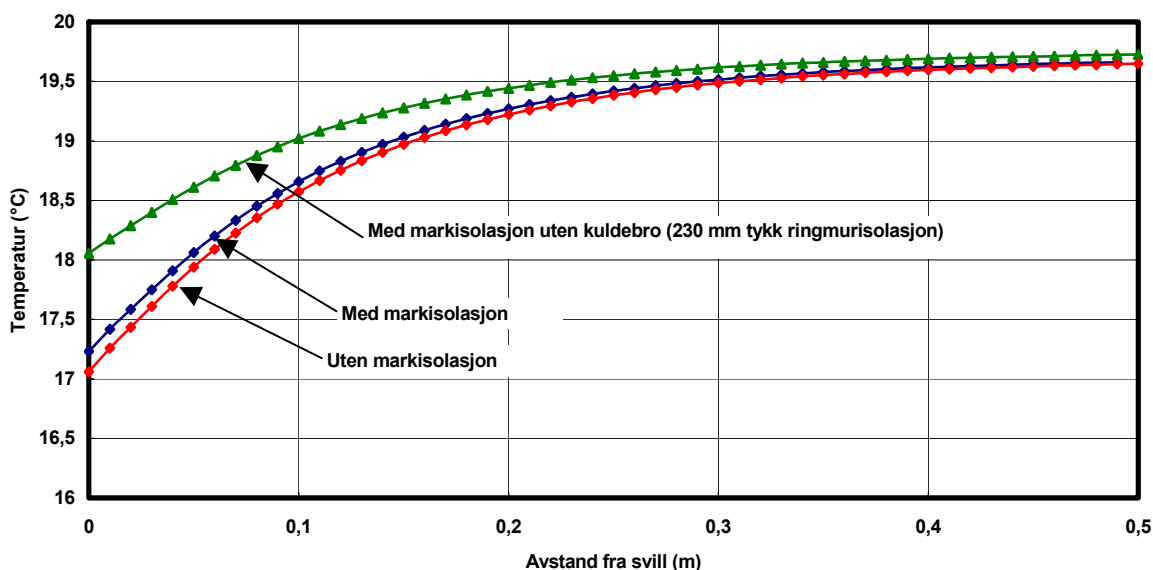
Ved å øke tykkelsen på ringmurisolasjonen fra 110 til 230 mm i randsonen, vil fundamentet med markisolasjon stadig være frostsikkert etter en dimensjonerende kuldeperiode. Varmetapet i en 0,5 m randzone er beregnet til 2,67 W/m

Figur 4.2 og Figur 4.3 viser at markisolasjonen også for hurtige temperatursvingninger er effektiv for å hindre frostnedtrengning under og innenfor ringmuren. Frosten trenger noe innenfor ytre ringmursisolasjonen, men stoppes effektivt av den indre isolasjonsvangen. På grunn av betongkjernens store varmekapasitet, vil denne også bidra til å dempe hurtige temperatursvingninger og hindre at disse slår gjennom ringmuren.

Ved å bruke markisolasjon reduseres varmetapet i randsonen under dimensjonerende forhold med ca. 5%. Hurtige temperaturvariasjoner dempes mest effektivt ved å øke ringmursisolasjonen. Ved å unngå kuldebro i ringmurtoppen gjennom en økning i isolasjonstykkelsen fra 110 mm til 230 mm, vil maksimalt varmetap i en randsonen på 0,5 m reduseres med ca. 28%. Skal en unngå lokalt lave gulvtemperaturer i relativt korte perioder med lave temperaturer må en øke ringmursisolasjonen, og da spesielt i ringmurtoppen (se Figur 4.4).

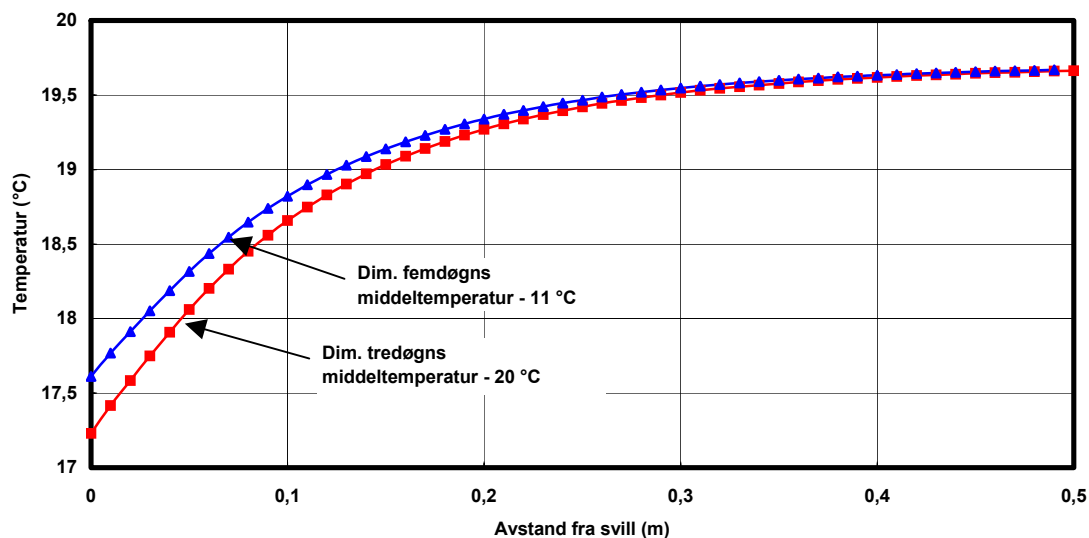
Markisolasjon som primært skal dempe langsiktige temperatursvingninger vil bare heve temperaturen på gulvoverflaten umiddelbart innenfor ringmurtoppen med ca. 0,1°C (fra 17,1 til 17,2°C). Allerede 100 mm inn fra ringmuren er overflatetemperaturen steget med 1,5°C til 18,7°C og 300 mm inn fra ringmuren ligger temperaturen på gulvoverflaten bare ca. 0,5°C under innelufttemperaturen. En halv meter inn fra ringmuren ligger temperaturen på gulvoverflaten bare 0,3°C lavere enn innelufttemperaturen. Dette viser at hurtige svingninger i utelufttemperaturen, på grunn av kuldebroen i ringmurtoppen, har relativt begrenset og lokal innflytelse på randtemperaturene på gulvoverflaten, se Figur 4.5.

En dimensjonerende tredøgnsperiode som inntreffer under ekstreme vinterforhold vil føre til en lokal senkning av temperaturen på gulvoverflaten umiddelbart innenfor svillen med 0,4 °C. 300 mm inn fra svillen vil hele effekten av avkjølingen være borte. Denne avkjølingen vil kortvarig øke varmetapet i en randsonen på 0,5 m med ca. 12%. Energimessig vil denne avkjølingen bare ha marginal betydning. Dette understreker imidlertid betydningen komfortmessig av en god ringmursisolasjon og da særlig i ringmurtoppen.



Figur 4.4

Temperaturfordelingen på gulvoverflaten under dimensjonerende forhold (tredøgns middeltemperatur – 20 °C) for referansekonstruksjonen med og uten betongkjerne i ringmurselementet. Dette understreker betydningen av å ha tilstrekkelig tykkelse på ringmursisolasjonen og da spesielt i ringmurtoppen



Figur 4.5

Temperaturfordelingen fra ringmuren isolert med markisolasjon og 0,5 m inne på gulvflaten under dimensjonerende kortvarige temperatursvingninger tredøgnsmiddelt-temperatur (-20°C) og dimensjonerende femdøgns middeltemperaturen (-11°C) under ekstreme forhold

Den modifiserte ringmursløsningen (referansekonstruksjonen) gitt i Figur 3.8 er gunstig når det gjelder kuldebrovirkning i randsonen. Dette skyldes ikke minst at det er brukt en veggtykkelse på hele 234 mm. Tilsvarende beregninger med en veggtykkelse på 150 mm gir et vesentlig større varmetap i ringmurtoppen. Dette kan eventuelt kompenseres ved å trekke gulvet lenger opp i veggen, se Figur 3.1. Denne løsningen vil kreve noe høyere yttervegg og vil være en mer kostbar løsning. Det er også mulig å øke tykkelsen både på den ytre og indre isolasjonsvangen. En bredere ytre isolasjonsvange kan dekkes med et beslag. En bredere indre isolasjonsvange vil kunne komme noe innenfor svillen. Bortsett for ved bruk av tynne gulvbelegg vil ikke dette ha vesentlig betydning for gulvets bærende egenskaper. Den beste løsningen er generelt å øke bredden på ytterveggen.

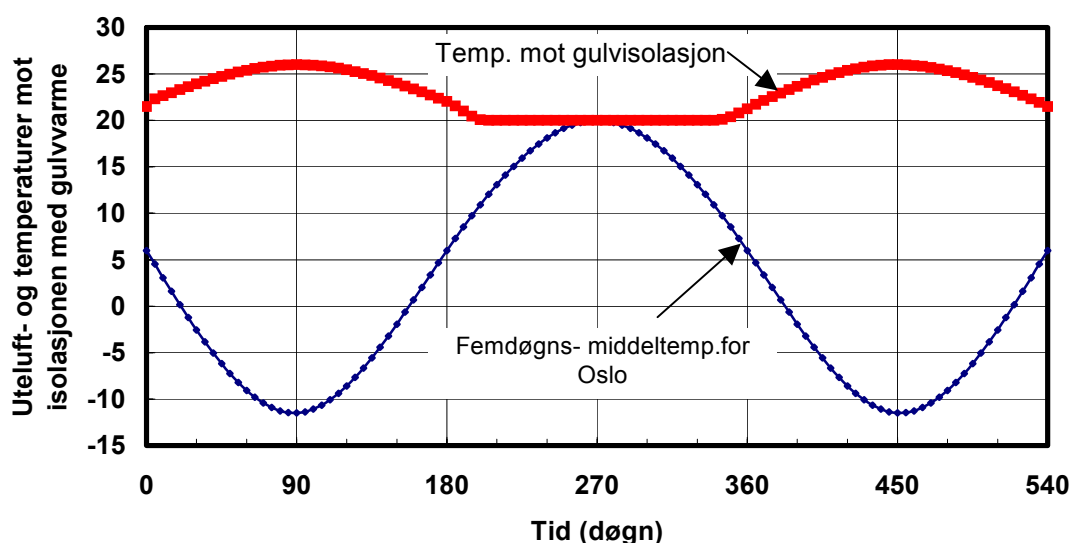
I spesielt kaldt klima vil kortvarige temperatursvingninger også kunne trenge innenfor indre ringmursisolasjon og under ringmursålen. Det kan da være nødvendig å øke tykkelsen på ringmursisolasjonen, og bredden og tykkelsen på markisolasjonen utover det som er tilstrekkelig med grunnlag i femdøgns middeltemperaturer som klimareferanse. Tabellene vist i kapittel 8 som angir nødvendig tykkelse for ringmursisolasjonen og bredde og tykkelse på markisolasjonen, er fastlagt under forutsetning av at en også skal unngå frostproblemer under kortvarige perioder med dimensjonerende lave temperaturer.

5 Gulvvarme og varmetap

Dimensjonering av gulvvarmeanlegg forutsetter effektberegninger av de enkelte rom eller temperatursoner. Her vil varmetapet fra gulvets randsone være av stor betydning ved dimensjoneringen, spesielt ved bruk av vannbåren lavtemperaturvarme - der en kuldebro vil kunne redusere gulvvarmeanleggets kapasitet i betydelig grad. Figur 5.1 viser svingningene i temperaturer i varmfordelingssjiktet mot gulvisolasjonen over året som er brukt i beregningene. Det er forutsatt at kapasiteten på varmeanlegget er så stor at en kan opprettholde en nær homogen temperaturfordeling over gulvflaten. Varmeanlegget er bare i drift i vinterhalvåret og turtemperaturen på inntaksvannet er utelufttemperatur-kompensert. Alternativt kan en bruke en romtermostat som til en hver tid sikrer tilfredsstillende varmebalanse.

For lette heteflater, for eksempel en gulvflate som avgir $30 - 40 \text{ W/m}^2$, er det mulig å begrense temperaturtapet fra vannet til overflaten på heteflaten til $6 - 7 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette temperaturtapet er for øvrig direkte proporsjonalt med spesifikk varmeavgivelse. I våtrom der det er mer vanlig å støpe rørene ned i betong med bruk av fliser, er det mulig å redusere dette temperaturfallet noe. Da tørr betong har relativt lav varmeledningsevne $1,2 \text{ W/mK}$ vil avstanden mellom rørene være vesentlig for varmeavgivelsen. Som et alternativ til betong kan en for eksempel bruke selvjevnende natur anhydritt som har varmeledningsevne $1,9 \text{ W/mK}$. I motsetning til betong bør natur anhydritt beskyttes mot fuktighet som for tørre, lette gulvvarmeutførelser.

God varmeoverføring er viktig i våtrom med keramiske fliser for å begrense turtemperaturen på vannet og samtidig oppnå en ønsket temperatur på gulvoverflaten på $28 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$. En unngår dermed at våtrom skal være dimensjonerende når det gjelder å fastlegge maksimale vanntemperaturer i varmeanlegget. Da våtrom gjerne har drift på gulvvarmeanlegget i store deler av året, er det en fordel om våtrom er plassert sentralt i bygningen med minst mulig randsone mot yttervegg. Dette vil vesentlig kunne redusere varmetapet og muliggjøre bruk av lavere vanntemperaturer.

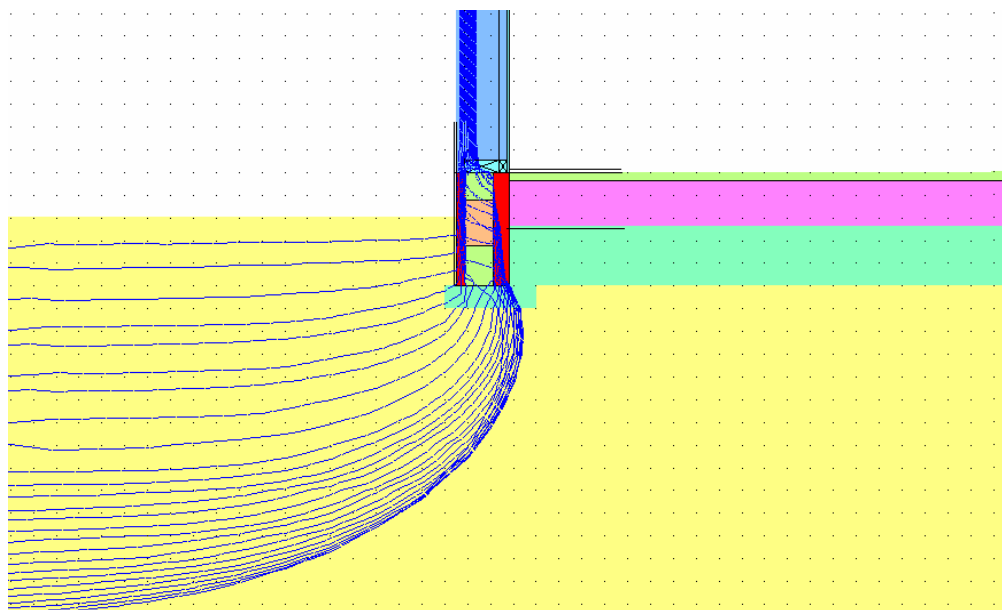


Figur 5.1

Eksempel på temperaturforløp mot gulvisolasjonen ved bruk av lavtemperatur gulvvarme i bygninger med begrenset varmebehov. Høyeste gjennomsnittlige overflatetemperatur mot gulvisolasjonen er under dimensjonerende forhold satt til 26 °C. Det er inntegnet dimensjonerende femdøgns middeltemperaturer for Oslo med maksimal frostmengde 25000 h°C og årsmiddeltemperatur 6,0°C. Det er forutsatt en romtemperatur på 20°C

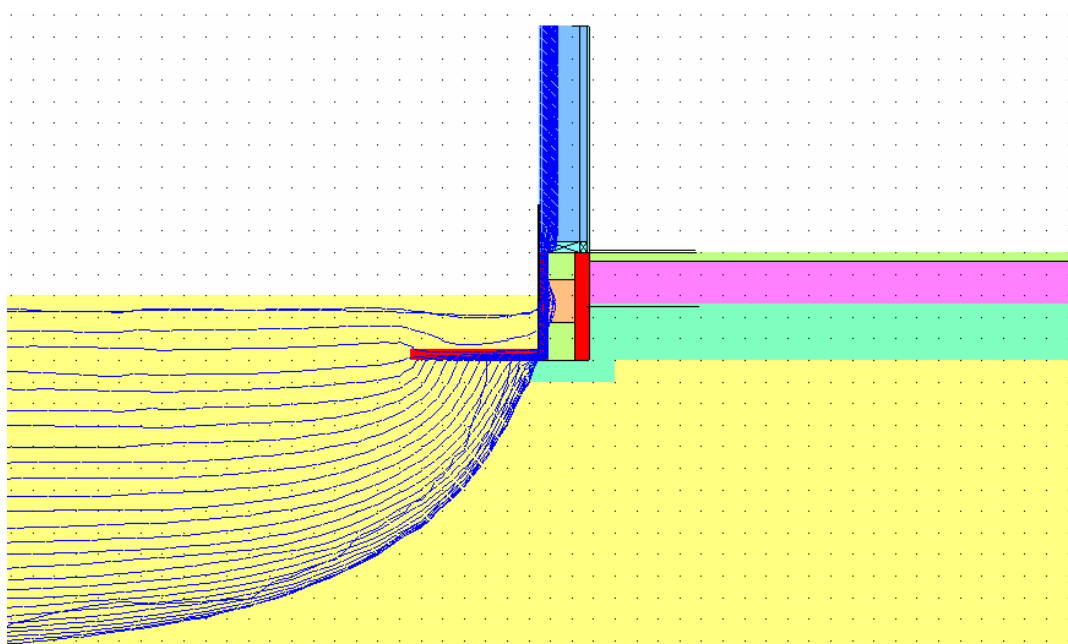
Figur 5.2 viser frostnedtrengningen for gulv på grunnen løsningen gitt i Figur 3.8 der det er innlagt gulvvarme. Gulvisolasjonen er stadig 200 mm tykk og høyeste temperatur på gulvflaten mot gulvisolasjonen under dimensjonerende forhold er satt til 26 °C. Dette gjelder for nye bygninger med lite varmebehov og for lavtemperatur gulvvarmeanlegg med beskjeden varmemotstand over varmemotstandssjiktet. For gulvvarmeanlegg med stor varmemotstand over varmerørene eller der varmebehovet er større, kan tilsvarende overflatetemperaturene mot gulvisolasjonen ligge over 10°C høyere med betydelig økning i varmetapet [16].

Med bruk av 200 mm isolasjon og lavtemperatur gulvvarme, vil økt varmetap til grunnen ha liten innflytelse på frostnedtrengningen ved ringmuren. Dette til tross for at varmetapet i randsonen med bredde 0,5 m har økt med 15% fra 3,16 W/m til 3,63 W/m. En betydelig del av denne varmen tapes gjennom ringmurtoppen som er direkte eksponert mot uteluften. Det er stadig behov for markisolasjon for å sikre ringmuren mot frost, se Figur 5.3.



Figur 5.2

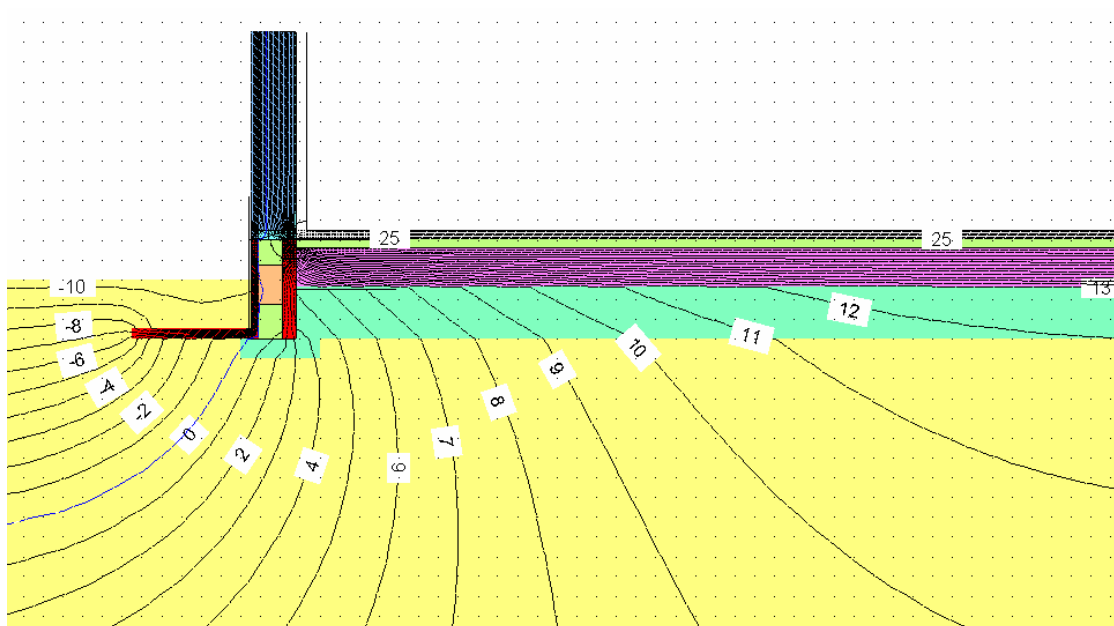
Gulv med gulvvarme. Grunnmaterialene er silt. Vanntemperaturen i varmeanlegget er utelufttemperaturkompensert og høyeste temperatur på gulvflaten mot gulvisolasjonen under dimensjonerende forhold er satt til 26 °C. Økt varmetap til grunnen vil ha liten innflytelse på frostnedtrengningen. Det er stadig behov for markisolasjon i telefarlig grunn. Varmetap i en 0,5 m bred randzone under dimensjonerende forhold er beregnet til 3,63 W/m



Figur 5.3

Frostnedtrengning i grunnen for gulv med lavtemperatur gulvvarme og bruk av markisolasjon i telefarlig grunn. Varmetap i en 0,5 m bred randzone under dimensjonerende forhold er beregnet til 3,27 W/m

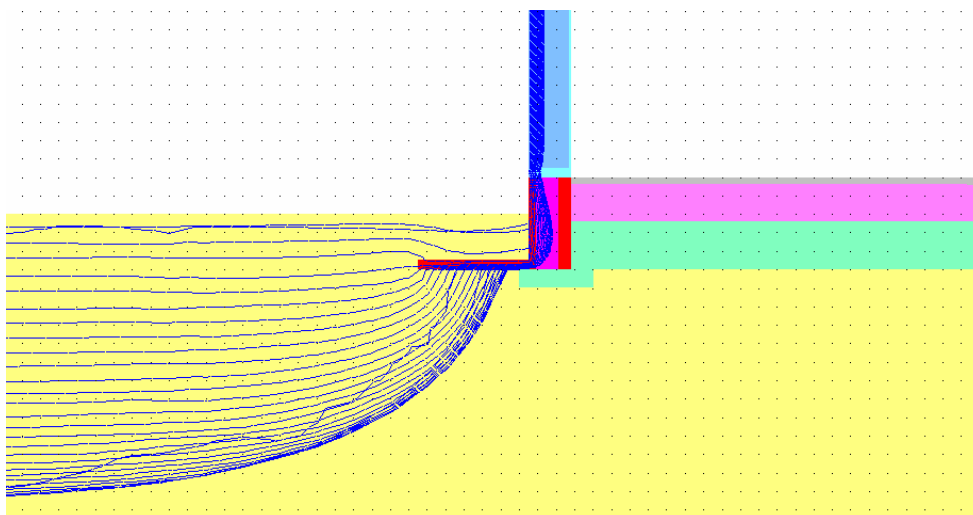
Figur 5.3 viser ringmursløsningen med bruk av gulvvarme og markisolasjon. Markisolasjonen har samme dimensjoner, tykkelse 50 mm og bredde 600 mm, som i tidligere beregninger. Det fremgår her at markisolasjonen sørger for et frostfritt ringmursfundament. Varmetapet med bruk av markisolasjon er redusert i en randzone på 0,5 m fra 3,63 W/m til 3,27 W/m eller med ca. 10%. Dette viser igjen at bruk av markisolasjon er nødvendig for å frostsikre ringmursfundamentet og at denne også har betydning for å redusere varmetapet til grunnen i randsonen.



Figur 5.4

Temperaturfordeling i grunnen i periode med størst varmetap ved bruk av gulvvarme og markisolasjon. Temperaturen mot gulvisolasjonen er ca. 25°C og maksimalt varmetap i en 0,5 m bred randzone er beregnet til 3,27 W/m

Figur 5.4 viser temperaturfordelingen i grunnen i en periode med størst varmetap ved bruk av gulvvarme og markisolasjon. Det er vist et utsnitt av gulvet med en bredde på ca. 4,0 m fra ringmuren. Etter en driftsperiode på fire år vil høyeste temperatur i grunnen under gulvisolasjonen i sentrale deler av bygget ligge på vel 13 °C.



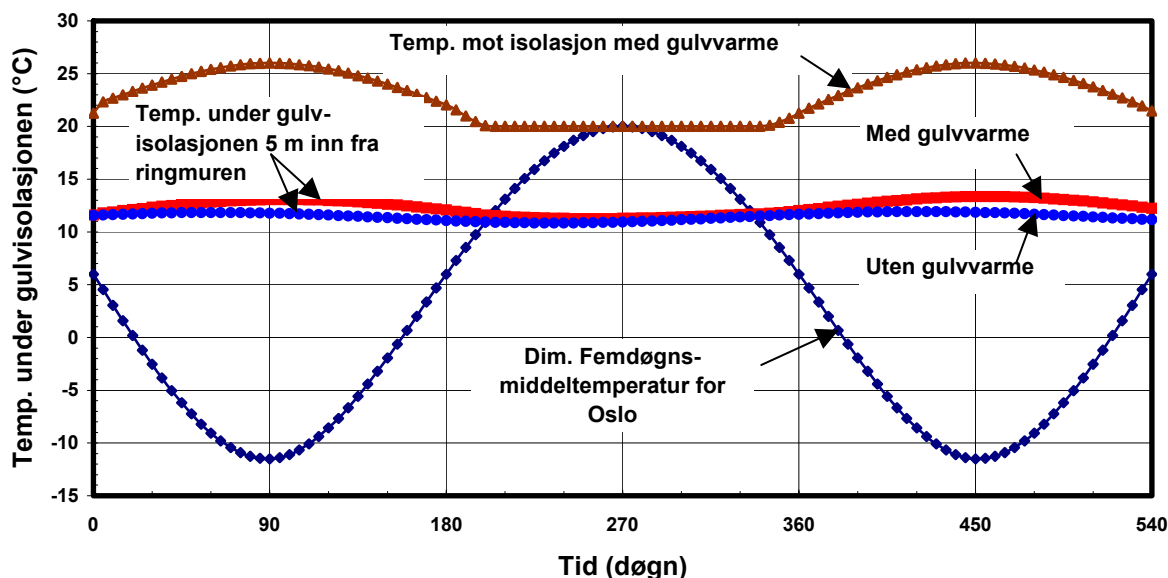
Figur 5.5

Gulv med gulvvarme. Frostnedtrengning i telefarlig grunn under forutsetning at hele ringmurselementet er utført i isolasjon uten betong. Maksimalt varmetap i 0,5 m bred randzone er beregnet til 2,86 W/m. På grunn av større varmetilskudd til grunnen er frostsone trukket lenger bort fra ringmursfundamentet

Figur 5.5 viser et tilfelle der betongkjernen i ringmurselementet er erstattet med isolasjon med samlet tykkelse på ringmursisolasjonen på 230 mm. Varmetapet i en 0,5 m bred randzone reduseres dermed til 2,86 W/m eller med ca. 14%. Ved å øke tykkelsen på gulvisolasjonen med 60 mm til 260 mm reduseres varmetapet i randsonen til 2,92 W/m som er samme varmetap som for tilsvarende gulv med 200 mm gulvisolasjon uten gulvvarme. I dette tilfellet må gulvisolasjonen økes med 30% for å kunne kompensere for et økt varmetap

i randsonen ved bruk av gulvvarme. For randsoner varmetapet er det derfor vel så viktig å unngå kuldebro i ringmurtoppen som ytterligere økning av gulvisolasjonen.

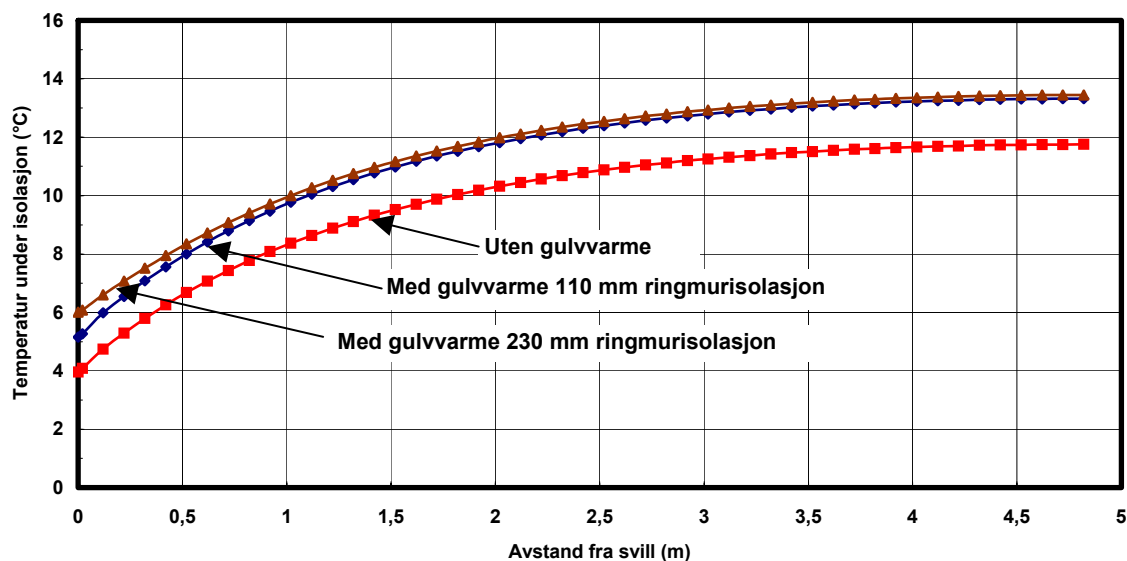
Figur 5.6 viser svingninger i jordtemperaturen over året med og uten gulvvarme umiddelbart under gulvisolasjonen og 5,0 m inn fra ringmuren. Dette viser at temperaturen er tilnærmet konstant over året og omtrent det dobbelte av årsmiddeltemperaturen. Gulvvarmeanlegget er først satt i gang i døgn 0. Det fremgår at det over tid vil magasineres betydelig varme i grunnen under gulvisolasjonen. Dette gjelder generelt, uavhengig av om det er brukt gulvvarme eller ikke. Forutsetningen er igjen at varmetransporten bare foregår ved ren varmeledning.



Figur 5.6

Svingninger i jordtemperaturen over året umiddelbart under gulvisolasjonen 5 m innenfor ringmuren med og uten gulvvarme. I begge tilfeller er det brukt markisolasjon og 200 mm gulvisolasjon

En økning av ringmursisolasjon vil redusere varmeavgivelsen fra gulvets randsoner til omgivelsene. Figur 5.7 viser temperaturfordelingen i grunnen umiddelbart under gulvisolasjonen med og uten gulvvarme. Varmeanlegget har da vært i drift i en fireårs periode. Det fremgår her at en økning av tykkelsen på ringmursisolasjonen gir høyere temperatur på massen innenfor ringmuren. I det aktuelle tilfellet med gulvvarme er det brukt to tykkelser på ringmursisolasjonen 110 og 230 mm. Dette har gitt en reduksjon av varmetap i randsonen på 0,41 W/m (eller ca. 14%). Av denne forskjellen vil ca. 0,23 W/m eller ca. 60% tapes direkte gjennom ringmurtoppen. Dette understreker igjen betydningen av å ha så god isolasjon i ringmurtoppen som mulig. Den resterende forskjellen i varmetap vil føre til at mer varme avgis til grunnen i randsonen under gulvisolasjonen. Dette vil igjen ha innflytelse på frostnedtrengningen, se Figur 5.5. Det fremgår her tydelig at frostgrensen er trukket lenger ut fra ringmursfundamentet. Hvor mye varme som magasineres i grunnen vil, foruten gulvisolasjonens tykkelse, være direkte avhengig av grunnmaterialenes varmeledningsevne, varmekapasitet og ringmursisolasjonens tykkelse. Også ringmurens høyde vil kunne ha betydning for varmemagasineringen og dermed gulvets varmetap. Det er da sett bort fra den mulighet at pukkmassene under gulvisolasjonen kjøles ned på grunn av vannføring eller ventilasjon i massen under gulvisolasjonen.

**Figur 5.7**

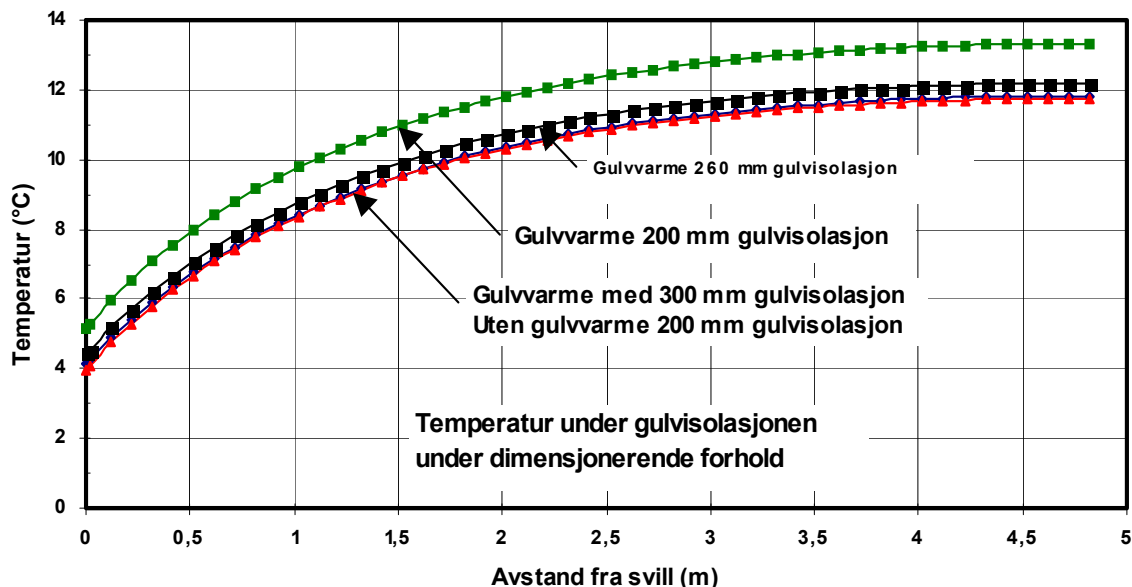
Temperaturen under dimensjonerende forhold umiddelbart under gulvisolasjonen fra ringmuren og fem meter inn på gulvet med og uten gulvvarme. Det er brukt markisolasjon og 200 mm gulvisolasjon

Når det gjelder varmetapet lenger inn fra ringmuren vil dette blant annet være avhengig av isolasjonstykkelsen. Av beregningene fremgår det at temperaturen på gulvoverflaten, under dimensjonerende forhold 5 m inn fra ringmuren uten bruk av gulvvarme, vil ligge ca. 0,2°C under innelufttemperaturen som i dette tilfellet er satt til 20°C. Tykkelsen på gulvisolasjonen er da 200 mm. Temperaturen i massen umiddelbart under gulvisolasjonen i sentrale deler av bygningen ligger på ca. 11,8°C. Varmetapet under dimensjonerende forhold ligger da i sentrale deler av gulvet på 1,44 W/m². Med bruk av gulvvarme vil tilsvarende temperatur under dimensjonerende forhold under 200 mm gulvisolasjon ligge på ca. 13,3°C. Dermed har en fått en ytterligere oppvarming av pukkmassen umiddelbart under gulvisolasjonen på 1,5°C. Varmeanlegget har da vært i drift over fire sesonger. Varmefordelingssjiktet mot gulvisolasjonen har under dimensjonerende forhold en gjennomsnittstemperatur på 25,7°C, se Figur 5.8. Dette gir et spesifikt varmetap for sentrale deler av gulvet på 2,23 W/m². Til sammenlikning er tilsvarende spesifikt varmetap i en 0,5 m bred randsone 6,54 W/m² eller ca. tre ganger høyere.

Ved å øke tykkelsen på gulvisolasjonen til 260 mm vil varmeavgivelsen til grunnen reduseres. Spesifikt varmetap i sentrale deler av gulvet er da beregnet til 1,87 W/m². Ved ytterligere økning av gulvisolasjonen til 300 mm vil temperaturen under gulvisolasjonen og dermed varmelagringen etter fire driftssesonger være omtrent den samme med og uten gulvvarme, se Figur 5.8 og Figur 5.9. Spesifikt varmetap under sentrale deler av bygningen reduseres dermed til 1,67 W/m². Varmetapet til grunnen i sentrale deler av gulvet vil i dette tilfellet ligge ca. 16% høyere enn for gulv uten gulvvarme og vil være direkte avhengig av temperaturen på varmfordelingssjiktet. Med en økning av temperaturen på varmfordelingssjiktet med 10°C til 36°C, vil tilsvarende varmetapet økes til ca. 2,90 W/m² eller med 74%. Dette viser at varmetapet til grunnen er meget følsomt for temperaturnivået på varmeanlegget.

Figur 5.10 og Figur 5.11 viser temperatursvingningene i grunnen over året umiddelbart under gulvisolasjonen fem meter inn fra ringmuren. Temperaturvariasjonene over året under gulvisolasjonen er her beskjedne, og vil med bruk av gulvvarme ligge på 1,8°C og tilsvarende 0,9°C uten bruk av gulvvarme. Det er også interessant å registrere at en har de laveste temperaturene i grunnen under sommerforhold. I sentrale deler av gulvet vil en ha en

faseforskyvning på ca. et halvt år med bruk av gulvvarme, og noe mindre uten gulvvarme. Dette er gunstig med tanke på utjevning av varmetapet under fyringssesongen. Det fremgår også at det stadig foregår en magasinering av varme i grunnen etter at varmeanlegget har vært i drift over i fire sesonger. Denne magasineringen vil bli mindre med økt tykkelse på gulvisolasjonen.



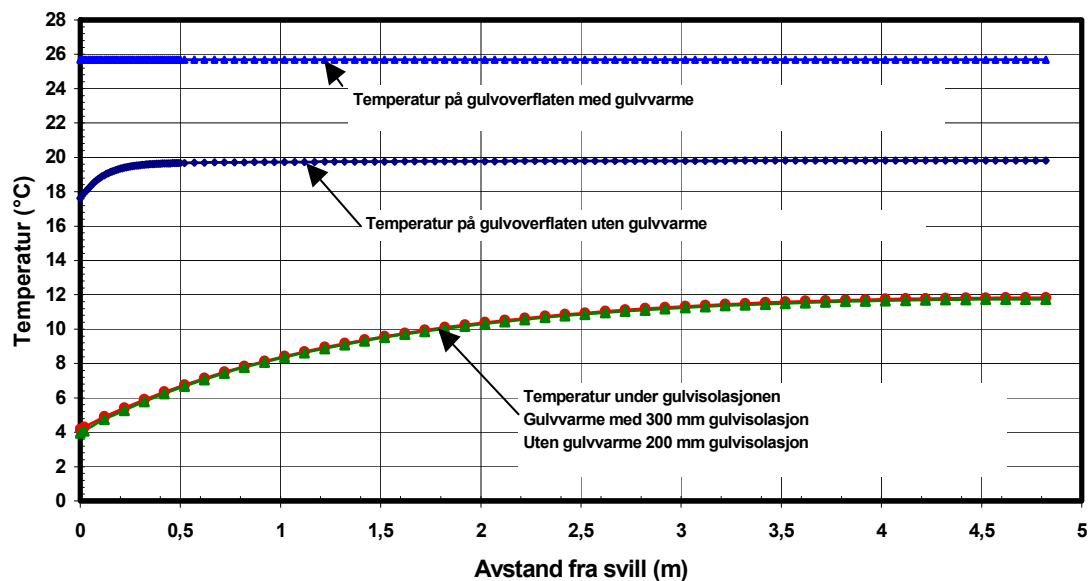
Figur 5.8

Temperaturen under gulvisolasjonen under dimensjonerende forhold fra svillen og 5 m inn på gulvflaten med forskjellig tykkelse på gulvisolasjonen med og uten gulvvarme

Dersom en ser på gjennomsnittlig spesifikt varmetap til grunnen under dimensjonerende forhold (for en gulvbredde fra ringmuren lik 5 m), ligger dette på $1,76 \text{ W/m}^2$ for gulvet med 200 mm gulvisolasjon uten gulvvarme. Tilsvarende spesifikt varmetap til grunnen for gulvet med 300 mm gulvisolasjon og gulvvarme med maksimal temperatur på varmfordelings-sjiktet vil være $1,89 \text{ W/m}^2$ - en forskjell på ca. 6%.

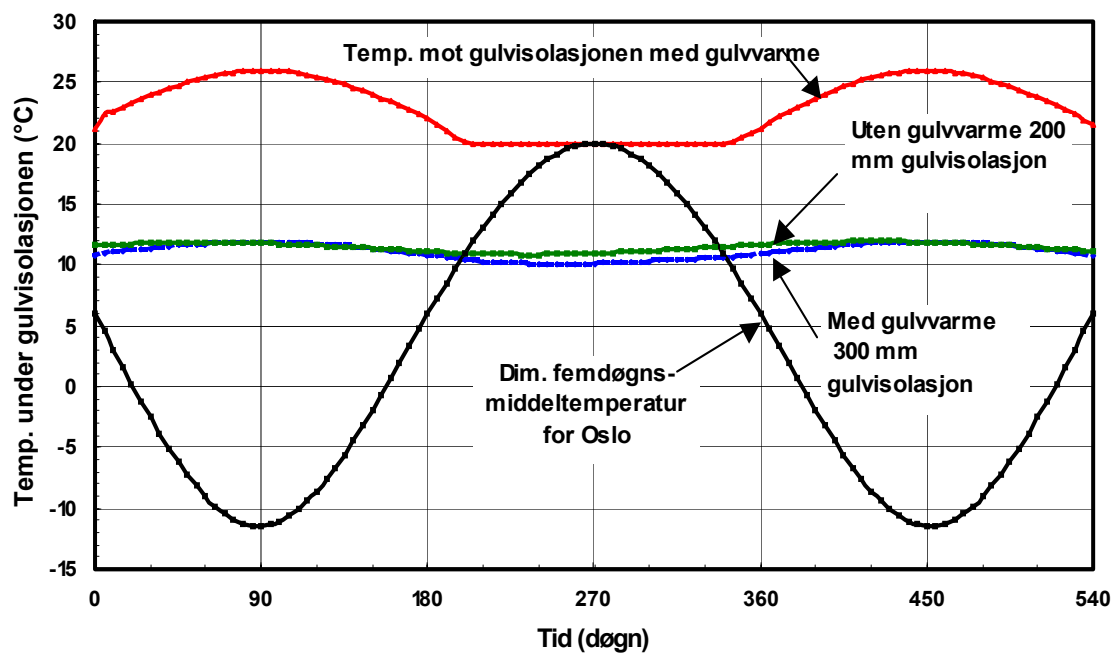
Uten gulvvarme og med 200 mm gulvisolasjon vil spesifikk varmeavgivelse til grunnen i randsonen med bredden 0,5 m ligge på $2,5 \text{ W/m}^2$. I sonen innenfor vil spesifikk varmetilførsel ligge på $1,7 \text{ W/m}^2$. Tilsvarende spesifikk varmetilførsel med gulvvarme og 300 mm isolasjon vil for randsonen være $2,4 \text{ W/m}^2$ og $1,8 \text{ W/m}^2$ innenfor randsonen på 0,5m.

Dette bekrefter at varmetap fra gulv på grunnen vesentlig er et randsoner problem når det gjelder gulvtemperaturer og det ikke brukes gulvvarme. Ved å øke tykkelsen på gulvisolasjonen i randsonen og samtidig forbedre ringmursisolasjonen vil en kunne kompensere for et økt varmetap i randsonen ved bruk av gulvvarme. Derimot kreves det en relativt betydelig økning av tykkelsen på gulvisolasjonen for fullt ut å kompensere for økningen av varmetap i sentrale deler av gulvet. Ved bruk av gulvvarme er det derfor viktig å opprettholde en betydelig isolasjonstykkelse over hele gulvflaten.



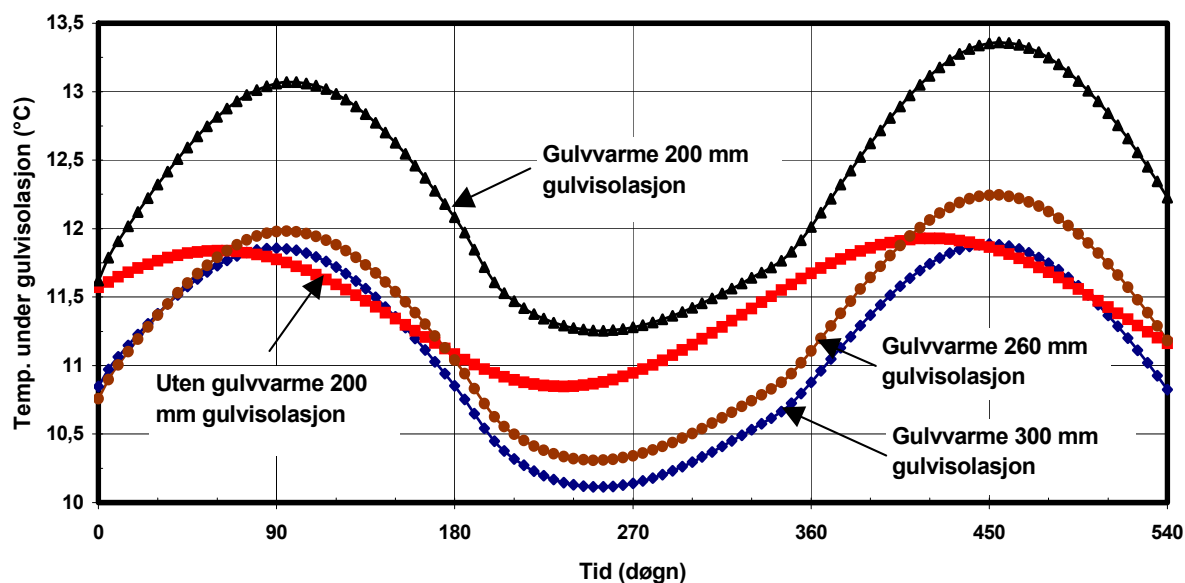
Figur 5.9

Temperaturene i grunnen umiddelbart under gulvisolasjonen under dimensjonerende forhold med ulik tykkelse på gulvisolasjonen med og uten gulvvarme



Figur 5.10

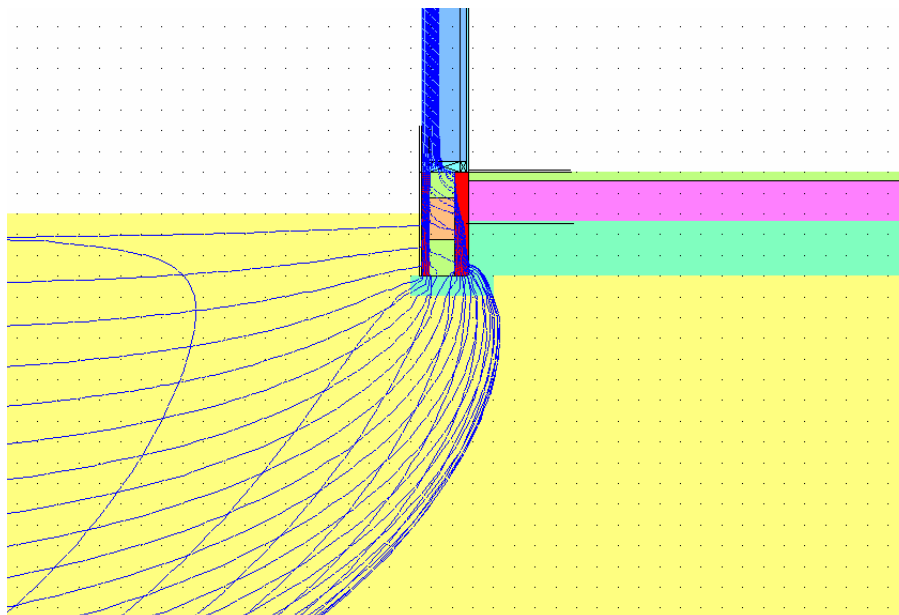
Svingningene i jordtemperaturene over året umiddelbart under gulvisolasjonen 5 m inn fra ringmuren med og uten gulvvarme. I tilfellet med gulvvarme er tykkelsen på gulvisolasjonen 300 mm og uten gulvvarme 200 mm



Figur 5.11

Svingningene i jordtemperaturen over året under gulvisolasjonen som vist på Figur 5.10, men i en større målestokk. Fem meter inn fra ringmuren vil faseforskyvningen når det gjelder temperaturene i grunnen umiddelbart under gulvisolasjonen være ca. et halvt år. I døgn 540 har varmeanlegget vært i drift i fire sesonger. Det foregår stadig en magasinerings av varme i grunnen

Skal en fullt ut kompensere for et økt varmetap fra gulv på grunnen med gulvvarme, vil dette kreve betydelig økning av isolasjonstykkelsen, se Figur 5.14. Samtidig er varmetapet fra gulv med gulvvarme meget følsomt for temperaturnivået på varmefordelingssjiktet som har kontakt med gulvisolasjonen. I tillegg til å øke isolasjonstykkelsen er det derfor viktig å bruke en gulvoppbygging der en kan redusere temperaturen på varmefordelingssjiktet. Dette oppnås ved at materialene over varmefordelingssjiktet har lav varmemotstand.

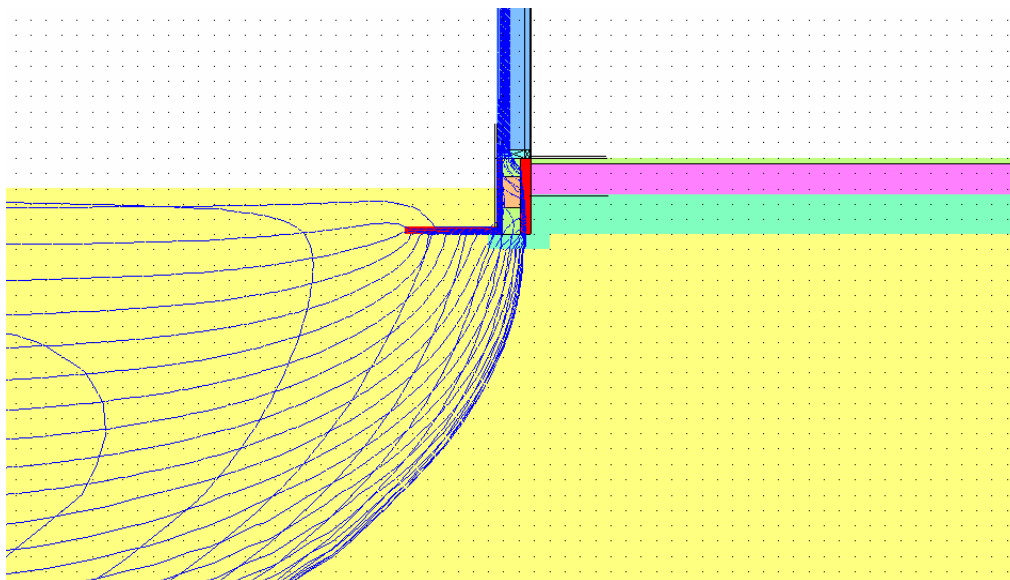


Figur 5.12

Gulv på grunnen med gulvvarme i fjellterreng. Til tross for større varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegget har en fått en betydelig frostinntrengning innenfor ringmuren. maksimalt varmetap i en randsone på 0,5 m er beregnet til 3,74 W/m. Gulvisolasjonen har tykkelsen 200 mm

Figur 5.12 viser gulv på grunnen med gulvvarme i fjellterreng uten snødekke. Maksimalt varmetap i en randzone med bredde 0,5 m har nå økt med ca. 3% i forhold til telefarlige materialer i grunnen og en har igjen frostinntrengning i nedre del av ringmuren. Dette bekrefter igjen at materialene i grunnen har relativt liten betydning når det gjelder varmetapet for godt isolerte gulvkonstruksjoner med og uten gulvvarme. Det skal et betydelige varmetilskudd til fra gulvflaten for å unngå innfrysning under og innenfor ringmuren. Det er derfor en energimessig dårlig løsning å redusere gulvisolasjonen i randsonen for å frostsikre ringmursfundamentet. Det er vesentlig mer energieffektivt å utnytte jordvarmen til frostsikring ved bruk av markisolasjon. Dette gjelder også i fjellterreng der markisolasjon hindrer gjennomfrysning av nedre deler av ringmuren, se Figur 5.13. Derimot vil gevinsten ved å bruke den aktuelle markisolasjon (50 mm tykk og 600 mm bred) være beskjeden med hensyn til å redusere varmetapet.

På grunn av høy varmeledningsevne (3,5 W/mK) uten vanninnhold for fjellgrunnen, må eventuelt markisolasjonens bredde økes for å oppnå en vesentlig reduksjon av varmetapet til grunnen. Alternativt kan ringmuren gå noe dypere ned i grunnen. I praksis vil en som regel ha noe løsmasser over fjellgrunnen i tillegg til snødekke i deler av vinteren, som vil øke effektiviteten av markisolasjonen også når det gjelder å redusere varmetapet.



Figur 5.13

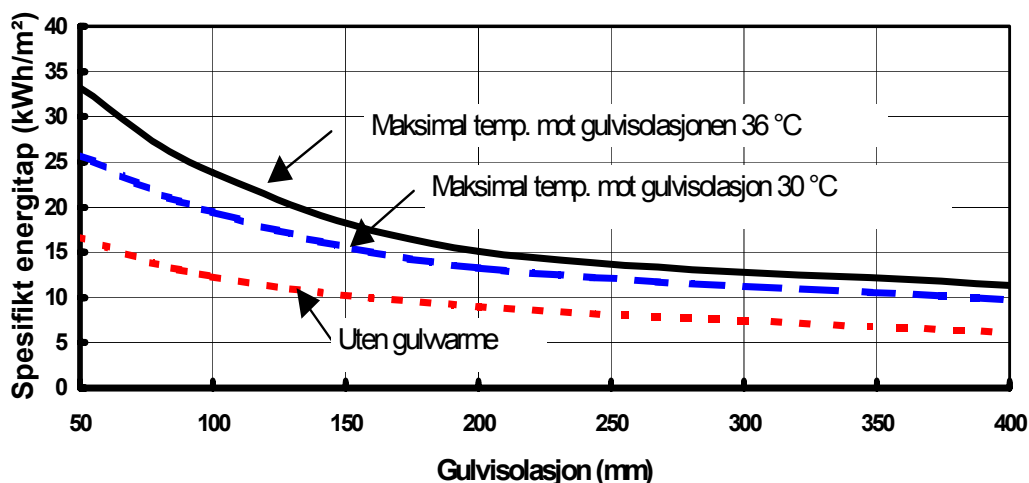
Gulvvarme i fjellterreng uten snødekke med markisolasjon.. Indre ringmursisolasjon hindrer at frosten trenger innenfor ringmuren. Varmetaper i en 0,5 m bred randzone under dimensjonerende forhold er 3,70 W/m

Skal en oppnå samme dimensjonerende varmetap i randsonen for referanse gulvkonstruksjonen med lavtemperatur gulvvarme som gulv uten gulvvarme, må gulvisolasjonen i det aktuelle tilfellet økes med ca. 30%. Ved å forbedre isolasjonen i ringmurtoppen vil en mer effektivt kunne oppnå samme reduksjon i varmetapet uten å øke tykkelsen av gulvisolasjonen. Tykkelsen på gulvisolasjonen bør økes under hele gulvet ved bruk av gulvvarme (ikke bare i randsonen), da varmetapet øker også lenger inn fra randsonen. Dersom en ikke har en avkjøling av grunnen på grunn av vannføring eller ventilasjon, vil en ved bruk av gulvvarme over tid kunne magasinere varme i grunnen under sentrale deler av bygningen. Dette er imidlertid en meget langsom prosess som vil kunne ta år for godt isolerte gulvkonstruksjoner.

Ved dimensjonering av gulvvarmeanlegget må det tas høyde for at en har en økning av varmetapet i randsonen. I det aktuelle tilfellet, der en bruker samme isolasjonstykkelse som

for gulvet uten gulvvarme, vil denne økningen i en 0,5 m bred randsonen ligge fra 13 til 18% avhengig av grunnmaterialene og om det brukes markisolasjon eller ikke. Bruk av markisolasjon vil kunne redusere forskjellene i varmetapet noe, men det mest effektive er å forbedre ringmursisolasjonen. I tilfeller med større kuldebro i randsonen, mindre tykkelse på gulvisolasjon og høyere gulvtemperaturer, vil økningen i varmetapet være vesentlig større.

Figur 5.14 viser spesifikt energitap fra gulv på grunnen over fyringssesongen beregnet med og uten gulvvarme med ulike temperaturnivå mot gulvisolasjonen. I dette tilfellet er det bare regnet med 50 mm tykk ringmursisolasjonen. Med 200 mm tykk gulvisolasjonen er økningen i spesifikt energitap over fyringssesongen uten gulvvarme, og med en maksimal temperatur mot gulvisolasjonen lik 30°C på 4,3 kWh/m². For en gulvflate på 100 m² betyr dette en økning i energitap fra gulvet med gulvvarme over fyringssesongen på 430 kWh eller nær 50%. Dette energitapet vil reduseres betydelig ved å senke temperaturnivået, øke tykkelsen på ringmursisolasjonen og generelt bruke markisolasjon. Som det fremgår av Figur 5.14 er det ikke tilstrekkelig å øke tykkelsen på gulvisolasjonen. Det er vel så viktig å redusere kuldebroen i randsonen ved å øke tykkelsen på ringmursisolasjonen, og benytte materialer med lav varmeledningsevne i gulvoverbygningen.



Figur 5.14

Spesifikt energitap for gulv på grunnen over fyringssesongen beregnet med og uten gulvvarme og med ulike temperaturnivå mot gulvisolasjonen. Det er brukt en ringmursutførelse vist på Figur 3.1 med 50 mm ringmursisolasjon uten markisolasjon (Oslo klima og 100 m² grunnflate)

En kuldebro med økt varmetap i randsonen vil kunne skape problemer ved bruk av gulvvarmeanlegg. Forholdene vil bli ytterligere forverret med bruk av vannbåren lavtemperatur gulvvarme. En betydelig varmemengde må da tilføres randsonen bare for å kompensere for kuldebroen uten at en er i stand til å heve gulvets overflatetemperatur over innelufttemperaturen. I stedet for å tilføre turvannet først til en ytre randsonen bør en i lavtemperatur varmeanlegg snu vannstrømmen slik ytre randsonen får vann sist. En bruker dermed resttemperaturen i vannet til å kompensere for kuldebroen.

For godt isolert gulv og ringmur vil randsonen med lave temperaturer begrenses til en avstand fra ringmuren på fra 100 til 300 mm. Selv under dimensjonerende forhold vil det være sjelden temperaturen på gulvoverflaten i randsonen ligger lavere enn 3°C under innelufttemperaturen. Det betyr at det av komfortsyn ikke nødvendigvis bør tilføres varme til randsonen for å kompensere for lave overflatetemperaturer. Ved å unngå å legge varmerørene helt ut mot ringmuren vil en kunne redusere varmetapet uten at dette går

vesentlig ut over komforten. Dette forutsetter godt isolerte vinduer, slik at kaldras fra kalde vindusflater unngås. Kaldras fra utilstrekkelig isolerte vinduer kompenseres mer effektivt med en varmelist under vinduet enn ved generelt å øke temperaturen på hele gulvoverflaten.

6 Vurdering av beregningsresultatene

6.1 Varmeisolering og kuldebrovirkning

Beregningene viser klart at varmetapet fra et godt isolert gulv på grunnen i det vesentlige er et randsoneproblem, når det gjelder å unngå lave gulvtemperaturer. Det betyr at svingninger i temperaturen på gulvoverflaten over året er begrenset til en relativt smal randsoner. Dette gjelder uavhengig av bygningens størrelse. Allerede 0,5 m inn fra ringmuren vil svingningene i varmetapet over året være betydelig dempet. Lenger inne på gulvet vil varme avgitt fra gulvoverflaten over tid kunne bygge opp et varmemagasin i grunnen der en får en balanse mellom den varmen som avgis til grunnen og den varmen som lekker ut til sidene. På grunn av stor varmekapasitet i grunnen og moderat varmeledningsevne, vil varmetapet være nær konstant over året og meget beskjedent. I grunnen under sentrale deler av bygget vil en kunne bygge opp et varmemagasin og ha en faseforskyvning når det gjelder temperaturene i grunnen under gulvisolasjonen i størrelsesorden et halvt år. Det betyr at en vil ha de laveste temperaturene i grunnen under sommerforhold. Under forutsetning av at all varmetransport foregår ved ren varmeledning vil materialene i grunnen inngå som en del av gulvisolasjonen. Temperaturnivået i massen under sentrale deler av gulvflaten vil da også være avhengig av gulvisolasjonens tykkelse. Overflatetemperaturene på gulvet innenfor randsonen vil derfor bare ligge noen tiendedels grader under innelufttemperaturen.

Teknisk forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven (pbl) angir en største, gjennomsnittlige U-verdi lik $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ for gulv på grunnen (ved innelufttemperatur større enn 20°C). Varmetapet i randsonen vil tilnærmet være det samme for store og små bygninger, men kravet til gulvisolasjon (basert på gjennomsnittlig varmetap) vil være høyst forskjellig. Store bygninger kan derfor tåle relativt store kuldebroer i randsonen uten at dette har vesentlig innflytelse på gjennomsnittlig U-verdi og dermed gjennomsnittlig varmetap. Kuldebro i randsonen vil imidlertid lokalt føre til lave gulvtemperaturer. Kravet til varmetap i randsonen bør derfor være det samme for små og store bygninger.

En kan for eksempel tenke seg en stor bygning der temperaturforholdene i grunnen midt under bygningen er stasjonære og tilnærmet endimensjonale. Dersom vi antar at grunnen består av fjell med varmeledningsevne $3,5 \text{ W/mK}$, og at temperaturen 20 m ned i grunnen er konstant lik årsmiddeltemperaturen, som for Oslo kan settes lik $6,0^\circ\text{C}$, vil varmetapet være konstant lik $2,5 \text{ W/m}^2$. "U-verdien" for gulvet uten isolasjon vil på grunn av grunnens store varmemotstand være $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dersom gulvet isoleres med 100 mm tykk isolasjon vil varmetapet reduseres til $1,65 \text{ W/m}^2$ (eller med 48,5%). Gulvets "U-verdi" inklusive grunnens varmemotstand er nå redusert til $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Isolasjonen alene vil ha en "U-verdi" på $0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dersom en har et kapillærbrytende pukklag under gulvet, som tidvis brukes som magasin og vannvei for overvann, vil dette kunne kjøles ned. Dette kan for eksempel forekomme i en snøsmeltingsperiode der smeltevannet kan holde en temperatur nær frysepunktet. En vil også kunne kjøle ned grunnen på grunn av ventilasjon og intern konveksjon i porøse steinfyllinger. Dersom gjennomsnittstemperaturen i pukklaget under gulvisolasjonen antas lik årsmiddeltemperaturen $6,0^\circ\text{C}$, vil en med isolasjonstykkelse lik 200 mm ha et varmetap fra gulvoverflaten på $2,5 \text{ W/m}^2$. Isolasjonens U-verdi er i dette tilfellet den samme som for et uisolert gulv $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Uten gulvisolasjon kan avkjølingen lett overstige 100 W/m^2 , som vil føre til meget lave gulvtemperaturer. Dette viser at gulvisolasjonen i indre deler av gulvet ikke uten videre kan sløyfes. Uten avkjøling av massen under gulvisolasjonen vil en moderat tykkelse på gulvisolasjonen kunne gi en meget lav U-verdi. Imidlertid vil ikke forholdene i grunnen være så enkle som beskrevet her.

En fastsettelse av grunnens varmemotstand må nødvendigvis være beheftet med stor usikkerhet. Det skyldes at varmemotstanden vil kunne variere over gulvflaten, over tid og er i tillegg temperaturavhengig. Pukklaget under gulvet har stor porøsitet (40%) og kan for

eksempel i perioder tjene som vannmagasin og vannvei for overvann. En kan også oppleve store variasjoner i grunnvannstand, fukt- og ventilasjonsforhold i grunnen. Det er derfor en rekke forhold som kan bidra til at betydelige varmemengder fjernes fra grunnen under gulvet.

Uansett størrelsen på bygningen, bør en derfor alltid bruke gulvisolasjon i indre deler av gulvet. Gulvisolasjonen tjener også som et effektivt kapillærbrytende sjikt, og sikrer en temperaturdifferanse over gulvisolasjonen som er fukteknisk gunstig. Slik isolasjon sikrer også et tilfredsstillende inneklime under en oppvarmingsperiode av grunnmaterialene som kan ta år. Gulvisolasjonen er i tillegg viktig ved bruk av gulvvarme der det er av stor betydning for temperaturregulering (og dermed energiforbruket) at varmeanlegget ikke er for varmetregt. I tillegg til reduksjon av varmetapet finnes det derfor en rekke andre forhold som tilsier bruk av gulvisolasjon i hele gulvflaten. Når en først går til det skritt å benytte gulvisolasjon i hele gulvflaten bør en generelt bruke en isolasjonstykkelse som i seg selv er tilstrekkelig til å unngå lave gulvtemperaturer, uavhengig av grunnforholdene. Stor usikkerhet ved fastsettelse av grunnens termiske egenskaper vil dermed få mindre betydning for gulvets varmetap.

Varmeisoleringen av randsonen er generelt av stor betydning for gulvets samlede varmetap. Det betyr at det må legges stor vekt på ringmursutførelsen. Tykkelsen på gulvisolasjonen er også viktig i denne sammenhengen, da denne begrenser randsonens bredde. Uavhengig av bygningens størrelse bør en generelt bruke en relativt tykk gulvisolasjon i randsonen, for eksempel minimum 200 mm. Det vil også kunne begrense bredden til randsonen med lave overflatetemperaturer. Dette er forhold som er av større betydning for å kunne redusere varmetapet enn mindre isolasjonstykkelse på hele gulvflaten.

Beregningsresultatene viser at det er gunstig, for å redusere varmetapet i randsonen, å dempe temperatursvingningene i de øvre jordlag utenfor ringmuren. Varmetapet i gulvets randsoner skjer dels direkte gjennom ringmurtoppen mot uteluften i form av en kuldebrovirkning og dels ved varme som tapes til grunnen. Tykkelsen på ringmursisolasjonen vil være bestemmende for varmetapet gjennom ringmuren og hvor mye av varmen som avgis fra gulvet som kan bidra til å frostsikre ringmursfundamentet. Kuldebroen i ringmurtoppen vil bare ha minimal betydning for ringmurens frostsikkerhet og må håndteres separat. Det er prinsipielt galt, på bekostning av et godt inneklime, å redusere isolasjonen i randsonen og dermed øke varmetapet for å frostsikre ringmursfundamentet. Som for kalde bygninger, bør jordvarmen utnyttes til frostsikring av ringmursfundamentet. Dette oppnås ved å bruke markisolasjon. Nå viser beregningene at markisolasjonen, som demper svingningene i jordtemperaturene under isolasjonslaget, også har betydning for å redusere varmetapet i randsonen. Dette gjelder generelt, uavhengig av materialene i grunnen. Bruk av markisolasjon bidrar derfor til å redusere den innflytelsen ulike materialer i grunnen har på gulvets varmetap. Det bør derfor generelt brukes markisolasjon også i ikke telefarlig grunn. Det er et samspill mellom randsoner isolasjon (ringmur-, gulv- og markisolasjon) og frostsikring. Det er derfor utarbeidet tabeller hvor nødvendig tykkelse på ringmurselementets isolasjon og bredde og tykkelse på markisolasjonen som gir frostsikkerhet er angitt, se kapittel 8. Disse tabellene er utarbeidet under forutsetning av en betydelig tykkelse på gulvisolasjonen (200 mm), og en isolering av ringmuren som samtidig sikrer et minimalt varmetap i randsonen.

6.2 Frostsikring

Når det gjelder frostsikring, vil dette ikke bare gjelde ringmursfundamentet. Ringmuren bør også sikres mot frostgjennomslag, som vil kunne føre til frost i bunnledningene. Det må derfor også i frostsikringssammenheng stilles krav til tykkelsen på ringmursisolasjonen. Prefabrikkerte ringmurselementer som ofte brukes i dag, er utstyrt både med innvendig og utvendig ringmursisolasjon. Dette er en fordel idet en kan bruke markisolasjon uten å legge

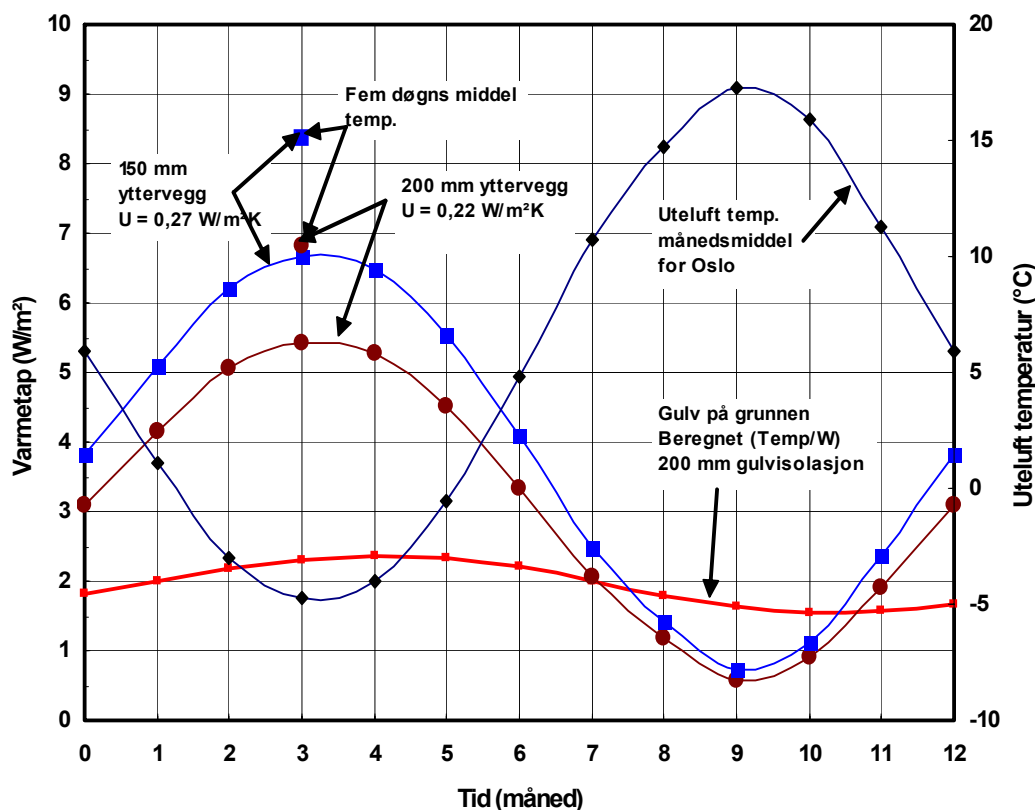
isolasjon under ringmursfundamentet og samtidig ha en innvendig kuldebrobryter. Ringmurselementets kjerne består av betong. Ringmuren får dermed også økt varmekapasitet som er viktig for å dempe hurtige temperatursvinger som ellers vil kunne trenge gjennom ringmuren. Dette bekreftes av beregningene som viser at for den aktuelle referansekonstruksjonen vil randsonen ha tilstrekkelig kapasitet til å dempe innflytelsen av korte perioder med stor kuldeintensitet. Her vil bruk av markisolasjon være en viktig bidragsyter for å øke randsonens varmekapasitet.

Det er avgjørende at tykkelsen på isolasjonen i ringmurtoppen er tilstrekkelig til å tjene som kuldebrobryter. Da en normalt har undertrykk i denne sonen, må en ved utførelsen sikre absolutt lufttettethet mellom ringmurtopp, vegg og gulvoverflate. Utettheter her kan føre til inntrengning av kald luft som vil kjøle ned gulvoverflaten.

6.3 Prefabrikkerte ringmursløsninger

For prefabrikkerte ringmurselementer vil isolasjonstykkelsen være direkte avhengig av bygningens veggtykkelse. Dersom store tilleggsvarmetap skal unngås viser beregningene at veggtykkelsen generelt bør økes fra 150 mm til minimum 200 mm. Dette vil sikre tilfredsstillende tykkelse på indre isolasjonsvange i ringmurtoppen. Samtidig oppnås bedre mekanisk stabilitet for ringmurselementet og lastoverføring til grunnen. Samtidig vil varmetapet fra veggen reduseres betydelig. En unngår også kuldebrovirkning på grunn av den smale tresvillen, som også har direkte konsekvenser for gulvtemperaturene i randsonen. Veggen kan derfor ikke betraktes uavhengig av ringmur- og gulvutførelsen.

Det er i rapporten vist eksempel på en løsning (Figur 3.8) der veggtykkelsen er økt fra 150 mm til 234 mm. Dermed reduseres U-verdien for veggen fra $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ til $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det er i denne sammenhengen verdt å merke at mens dimensjonerende varmetap fra et godt isolert gulv på grunnen vil ligge på $2,5 \text{ W/m}^2$ vil tilsvarende varmetap for en yttervegg med U-verdi $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ være $10,4 \text{ W/m}^2$ - altså fire ganger høyere. En reduksjon av veggens U-verdi til $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil kunne redusere veggens dimensjonerende varmetap til $6,4 \text{ W/m}^2$ (en reduksjon på vel 60%). Når veggarealet for en representativ enebolig normalt vil være ca. 50% større enn gulvflaten, vil denne reduksjonen i veggens U-verdi slå meget sterkt ut i boligens samlede varmetap (se Figur 6.1).



Figur 6.1

Gjennomsnittlig spesifikt varmetap over året fra gulv på grunnen med 200 mm gulvisolasjon sammenlignet med en yttervegg med 150 og 200 mm tykk veggisolasjon. Veggens varmetap er basert på månedsmiddeltemperaturen. Kortere perioder med lave uteluft temperaturer vil gi vesentlig større varmetap fra vegg, men har liten betydning for gjennomsnittlig varmetap fra gulv på grunnen

Stasjonære årlige gjennomsnittsberegninger gir et varmetap fra gulvflaten i en 0,5 m bred randsoner for den aktuelle referansekonstruksjonen på 1,78 W/m uten og 1,74 W/m med bruk av markisolasjon. Stasjonære beregninger viser derfor at innflytelsen av markisolasjon er neglisjerbar. Dynamiske beregninger derimot, hvor grunnens varmekapasitet inkludert frysevarme og temperaturavhengige materialegenskaper tas hensyn til, gir et maksimalt varmetap i en 0,5 m bred randsoner lik 3,16 W/m uten markisolasjon og 2,92 W/m med markisolasjon. Det er da forutsatt dimensjonerende vinterforhold i en periode der varmetapet fra gulvets randsoner er størst. Dette viser at markisolasjon jevner ut temperaturforskjellene i grunnen og dermed svingningene i varmetap over fyringssesongen. Forskjellen i midlere årlig varmetap i en randsoner på 0,5 m og varmetapet under dimensjonerende vinterforhold reduseres fra 77% til 68% ved å bruke markisolasjon. Markisolasjon bidrar derfor til å dempe innflytelsen av mer langvarige temperatursvingninger. Forskjellen i varmetap i en 0,5 m bred randsoner under dimensjonerende forhold med og uten bruk av markisolasjon, vil ligge på ca. 8%. Tilsvarende forhold vil kunne inntreffe i fjellterreng uten fuktighet i grunnen. Også her vil bruk av markisolasjon dempe svingningene i varmetapet. Forskjellen i varmetap under ekstreme forhold med og uten bruk av markisolasjon vil i fjellgrunn ligge på ca. 5%.

Beregningene viser at det er i en 0,5 m bred randsoner at en har årlige svingninger i gulvets overflatetemperatur på grunn av varmetap. Selv under dimensjonerende vinterforhold vil endringer i temperaturen på gulvoverflaten fra 0,5 m til 5,0 m inn på gulvet bare være ubetydelige og ligge i størrelsesorden 0,1 °C. Stasjonære og dynamiske beregninger viser at spesifikt varmetap inne på gulvflaten er tilnærmet konstant over året og lik 1,52 W/m². Dette gir en temperatur på gulvoverflaten på 19,8°C når innelufttemperaturen er 20°C. Spesifikt

gjennomsnittlig årlig varmetap i en 0,5 m randsonen er 3,48 W/m² og tilsvarende under dimensjonerende vinterforhold er 5,84 W/m². En økning i randsonen varmetapet på 68%. Når en derimot ser på gjennomsnittlig spesifikt varmetap for en 10 m bred bygning vil varmetapet bare økes fra et gjennomsnittlig årlig spesifikt varmetap på 1,7 W/m² til 2,1 W/m² eller med 22%.

Ved å øke tykkelsen på ringmursisolasjonen fra 110 mm til 230 mm, som gir et spesifikt varmetap i randsonen på 4,64 W/m², vil økningen i gulvets dimensjonerende varmetap bare være 14,5%. Ved å øke tykkelsen både på gulvisolasjonen i randsonen og ringmursisolasjonen vil spesifikt varmetap i en 0,5 m bred sone ligge på 4,12 W/m² eller gjennomsnitt for gulvet på 1,9 W/m². Dette er bare en økning i gulvets spesifikke varmetap i forhold til indre deler av gulvet lik 11%. Randsonen varmetapet får dermed redusert betydning for gulvets samlede varmetap. Det vil bare være en meget smal randsonen der en har varierende temperaturer på gulvoverflaten som skyldes variasjoner i varmetap. Det ligger derfor et stort potensial i redusert varmetap fra gulvoverflaten gjennom forbedret randsonenisolasjon

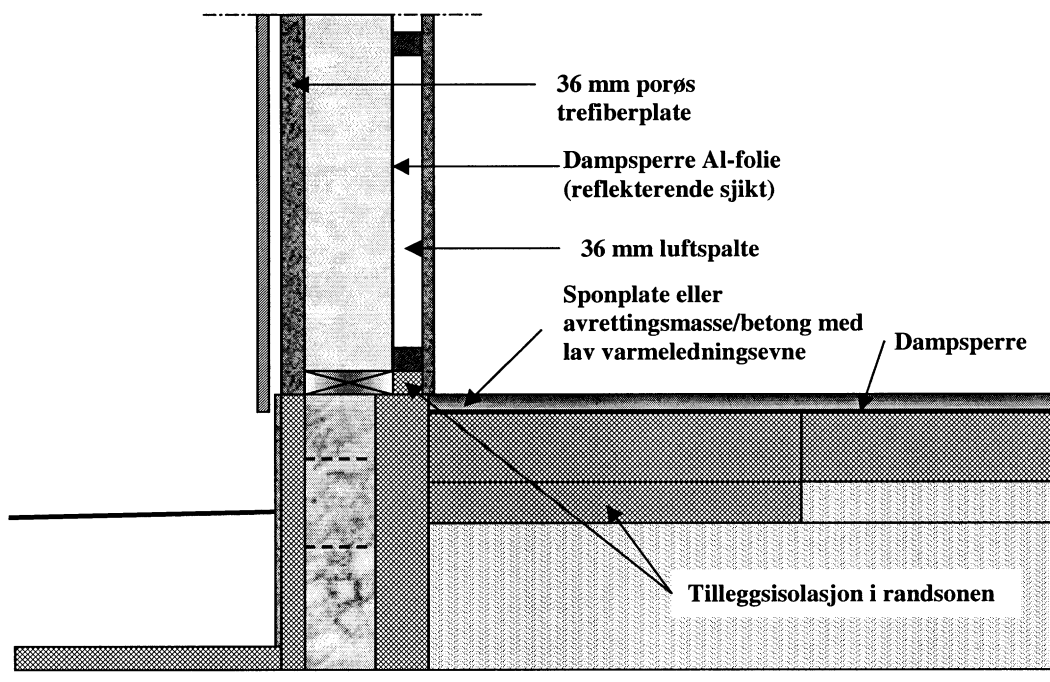
For en velisolert ringmurutførelse med bruk av markisolasjon og betydelig tykkelse på gulvisolasjonen, se Figur 3.8, er det et spørsmål om det er mulig med tilstrekkelig nøyaktighet (i forhold til virkelige forhold og ikke idealiserte beregningsforutsetninger) å bruke et dimensjonerende gjennomsnittlig varmetap som grunnlag både for energi- og effektberegninger. En vil da kunne frigjøre seg fra usikre antagelser om termiske egenskaper for materialene i grunnen. Dette igjen forutsetter at svingningene i jordtemperaturene, spesielt i vinterhalvåret, er tilstrekkelig dempet. I spesielle tilfeller kan det eventuelt være nødvendig å supplere med egne kuldebroberegninger for overgangen ringmur/vegg/gulv. En vesentlig fordel med denne type beregninger er at de er vesentlig enklere å gjennomføre. Da varmetapet fra godt isolerte gulv på grunnen, spesielt i vinterhalvåret, er meget beskjedent i forhold til varmetapet for den øvrige bygningen, bør dette samlet kunne gi en akseptabel nøyaktighet - en nøyaktighet som minst bør kunne ligge på linje med å bruke et stasjonært bestemt årlig gjennomsnittsvarmetap med periodiske korrigeringer i henhold til NS-EN ISO 13370. Dette vil omfatte både energi- og effektberegninger.

Da varmetapet fra en gulv på grunnen fundamentering vesentlig er et randsoneproblem, vil det være nødvendig å foreta tiltak for å redusere varmetapet i randsonen og dermed for hele gulvkonstruksjonen. Frostsikringstiltak i form av markisolasjon og økt ringmursisolasjon vil redusere svingningene i jordtemperaturene i randsonen over fyringssesongen og året. Dette er viktig da det er varmetapet over fyringssesongen som er av størst interesse i energi- og effektsammenheng. I spesielt kaldt klima vil også et snødekke kunne ha stor betydning for å dempe temperatursvingningene i grunnen. Dersom en i perioder under sommerforhold vil ha noe redusert varmetap fra randsonen, er dette av mindre interesse med hensyn til energiberegninger.

På bakgrunn av ovennevnte vurderinger vil en utførelse av en prefabrikkert ringmursløsning for gulv på grunnen med lavt varmetap uten kuldebro i randsonen kunne se ut som angitt i Figur 6.2. Det er her brukt en betydelig tykkelse (ca. 200 mm) på gulvisolasjonen over hele gulvflaten. Grunnforholdene og bygningens størrelse vil være avgjørende for om en bør bruke samme isolasjonstykkelse på hele gulvflate. Det er også andre argumenter enn varmetapet som tilsier at det er ønskelig å opprettholde en betydelig isolasjonstykkelse på hele gulvflaten. Dette gjelder særlig ved bruk av gulvvarme der det er en fordel å kunne sikre en viss temperaturdifferanse over gulvisolasjonen også i de sentrale deler av gulvet. Dermed unngås fukttransport fra grunnen opp i gulvkonstruksjonen når varmeanlegget er slått av. Det forutsettes imidlertid generelt at det brukes en dampspærre over gulvisolasjonen for å unngå fuktskader på gulvkonstruksjonens overbygging.

For større bygg, der grunnen ikke inngår i et overvannsystem eller grunnen avkjøles på annen måte, kan eksempelvis halve isolasjonstykkelsen (for eksempel 100 mm) fem meter inn fra ringmuren brukes, uten at dette har særlig innvirkning på varmetapet. Figur 6.2 viser at isolasjonstykkelsen er økt til 300 mm på den ytre meteren mot ringmuren. Dette vil som tidligere vist kunne redusere dimensjonerende varmetap i randsonen med ca. 10%.

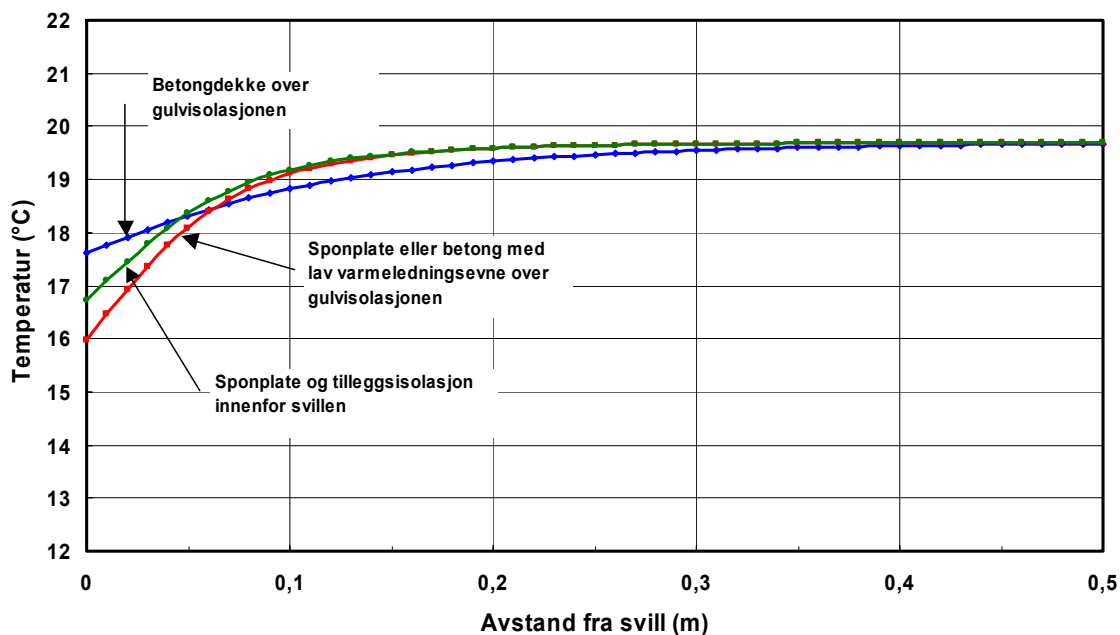
For å unngå at lave temperaturer på gulvoverflaten i randsonen skal forplante seg lenger inn på gulvflaten er det en fordel om det brukes en flytende gulvkonstruksjon og materialer med lav varmeledningsevne over gulvisolasjonen. En kan for eksempel bruke en 22 mm sponplate eller en type isolasjonsbetong eller avrettingsmasse med lav varmeledningsevne som bærende og lastfordelende sjikt. Ved å erstatte betongdekket over gulvisolasjonen med en sponplate eller betong med tilsvarende lav varmeledningsevne, vil varmetapet i randsonen på 0,5 m reduseres med ca. 6,0% under dimensjonerende forhold. Det er da forutsatt en isolasjonstykkelse på 200 mm over hele gulvflaten. Dermed oppnås økt overflatetemperatur for gulvet i randsonen, samtidig som temperaturen meget nær svillen bli lavere. Dette kan kompenseres noe ved å tilleggisolere svillen som vist på Figur 6.2. Overflatetemperaturen heves nær svillen samtidig som varmetapet fra randsonen reduseres fra 2,92 W/m til 2,49 W/m eller med 17% under dimensjonerende forhold, se Figur 6.3. Dette viser at en relativt smal tresvill vil virke som en kuldebro i ellers godt isolert ringmurselement.



Figur 6.2

Prinsskisse. Eksempel på ringmursløsning for gulv på grunnen med meget lavt varmetap og uten kuldebro i randsonen. En smal tresvill vil ha relativt stor innflytelse på gulvtemperaturen i randsonen og bør tilleggisoleres

Eventuelt gulvvarmeanlegg kan legges flytende over det varmeisolerende bærelaget. I tillegg er det viktig å sikre absolutt vindtetthet mellom svill, ringmur og yttervegg. Det er også viktig å bryte kuldebroen på grunn av svillen. Det er gjort i dette eksemplet ved å bruke 36 mm porøs vindtett trefiberplate utvendig. Denne platen vil også tjene som en avstivning av stenderverket. Det kan ytterligere være en fordel å bruke tilleggisolasjon på innsiden av svillen. I det viste eksemplet har bærende stendere en tykkelse på 150 mm.



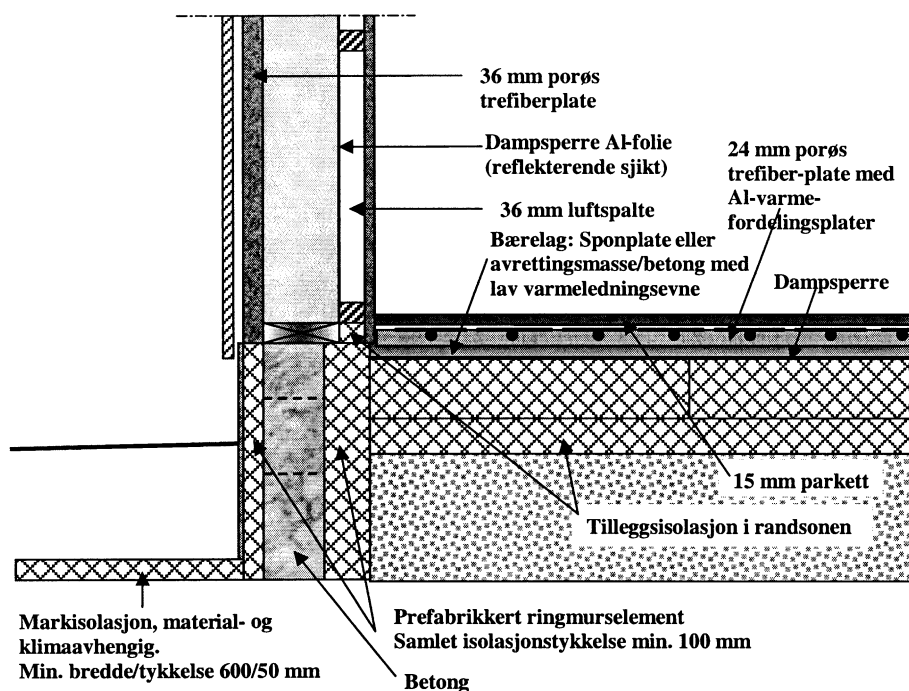
Figur 6.3

Ved å erstatte betongdekke med en sponplate eller isolasjonsbetong med varmeledningsevne 0,12 W/mK øker gulvtemperaturen noe inn fra svillen, men blir lavere nær svillen. Tilleggisolasjon innenfor svillen hever gulvtemperaturen nær svillen og reduserer varmetapet i en 0,5 m randzone fra 2,92 W/m til 2,49 W/m eller med 17% under dimensjonerende forhold. Gulvisolasjonen har tykkelsen 200 mm over hele gulvflaten

En godt isolert randzone med bruk av markisolasjon vil redusere varmetapet slik at svingningene i varmetapet fra gulvoverflaten over året vil bli mindre. Dette vil spesielt gjøre seg gjeldende i vinterhalvåret da et snødekke ytterligere vil bidra til å dempe temperatursvingningene. Selv i fjellterreng vil en normalt alltid ha noe løsmasser over fjellet som inneholder fuktighet og dermed bremser frostnedtrengningen i randsonen. Ved å sikre tilstrekkelig tykkelse på ringmursisolasjonen, og da spesielt innvendig isolasjonsvange, vil en kunne unngå kuldebro i ringmurtoppen. En kuldebro som påvirkes av hurtige temperatursvingninger vil lokalt, i perioder, kunne føre til meget lave gulvtemperaturer.

6.4 Bruk av gulvvarme

Ved bruk av gulvvarme vil forholdene være noe forskjellige sammenliknet med en mer ordinær utførelse av gulv på grunnen. Det er særlig viktig å sikre gulvkonstruksjonen mot kuldebro i ringmurtoppen og i randsonen. Det betyr i prinsippet en relativt tykk ringmursisolasjon. Da varmetapet til grunnen for godt isolerte gulv på grunnen, med eller uten gulvvarme, er beskjedent, vil det generelt være behov for frostsikringstiltak i form av markisolasjon og forsterket ringmursisolasjon. Dessuten vil også varmetapet lenger inn fra ringmuren økes på grunn av høyere temperatur på varmefordelingssjiktet mot gulvisolasjonen. Denne overtemperaturen, som bør være så lav som mulig, vil være avhengig av bygningens varmebehov og gulvkonstruksjonens oppbygging. Det er derfor viktig å ha lav varmemotstand for materialene over varmefordelingssjiktet, se Figur 6.4.



Figur 6.4

Prinsippkisse. Gulv på grunnen med lett gulvvarmeoppbygging. Som bærelag under fiberplatene med spor for varmerør og varmefordelingsplater kan en bruke en avrettingsmasse med lav varmeledningsevne eller 22 mm sponplate. Med bruk av gulvvarme kan det være hensiktsmessig å opprettholde en økt tykkelse på gulvisolasjonen over hele gulvflaten

Lavt varmetap betinger at en betydelig tykkelse på gulvisolasjon over hele gulvflaten opprettholdes. Nå vil høyere temperaturer på varmefordelingssjiktet også over tid kunne tilføre mer varme til grunnen og heve temperaturen under gulvisolasjonen. Denne økningen er relativt begrenset og er en langsom prosess som kan ta flere år. Det er snakk om en oppvarming i størrelsesordenen en til to tiendedels grad pr. år de første årene. Hvor stor den samlede økningen vil bli er også relativt usikkert på grunn av uoversiktlige forhold i grunnen. Dersom en ønsker å opprettholde målsetningen om at varmetapet ikke skal økes når varmeanlegg plasseres i klimaskjermen, vil dette kreve forholdsvis mye isolasjon. Det skal generelt relativt stor økning til for å ytterligere å redusere varmetapet når utgangspunktet er en relativt tykk gulvisolasjon. Økningen kan lett komme opp i over 50% når det gjelder tykkelsen på gulvisolasjonen. Da varmetapet generelt er lite, vil det normalt være tilstrekkelig med en økning i gulvisolasjonen på 30%, som kombinert med god ringmursisolasjon sikrer et lavt varmetap i randsonen. Da økningen i varmetapet fra gulvvarmeanlegget er direkte proporsjonalt med overtemperaturen på varmefordelingssjiktet er det vel så viktig å unngå for høye vanntemperaturer. I perioder med økt varmebehov kan det derfor være mer hensiktsmessig å kombinere gulvvarmeanlegget med andre varmeanlegg. God gulvisolasjon er generelt viktig for gulv på grunnen med gulvvarme og vil med en lett oppbygging av varmeanlegget kunne bidra til å gjøre varmeanlegget mindre varmetregt.

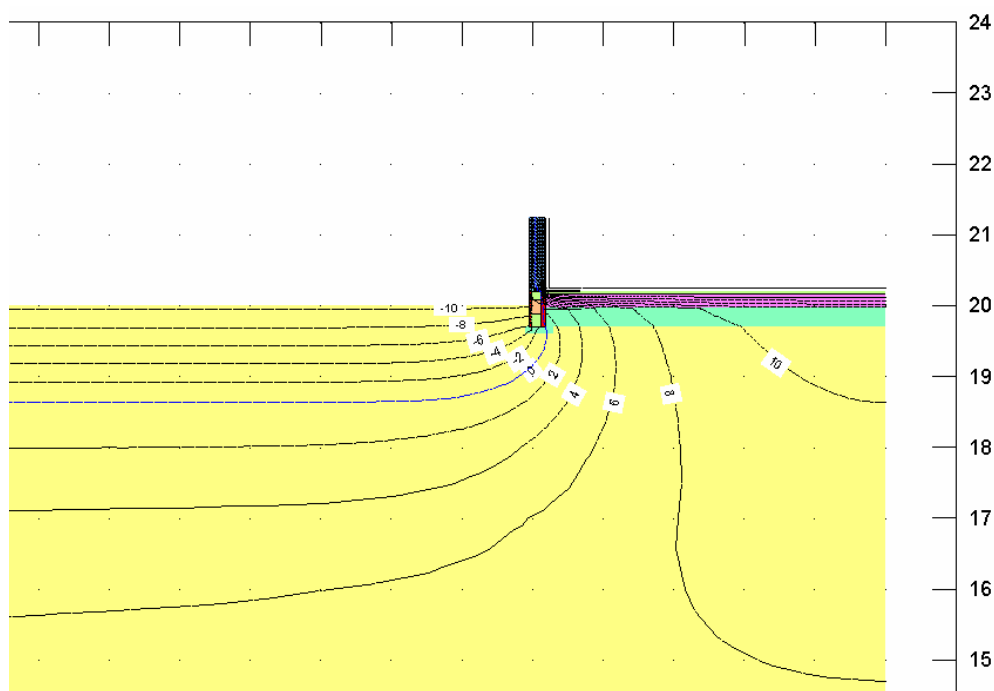
7 Forslag til forenklet beregningsprosedyre

7.1 Grunnlag

Som vist i rapporten, er det en direkte kobling mellom tiltak for å frostsikre godt isolerte gulv på grunnen konstruksjoner og varmetap i randsonen. Beregningene viser at bruk av markisolasjon, i tillegg til frostsikring, demper temperatursvingningene i randsonen og har dermed betydning for gulvets varmetap. Dette gjelder uavhengig av materialene i grunnen. Det fremgår også at det er meget viktig å ha tilstrekkelig tykkelse på ringmursisolasjonen for å unngå frostgjennomslag og kuldebro i ringmurtoppen. Ved å unngå kuldebro i ringmurtoppen vil gulvtemperaturene i randsonen heves, og mer varme kunne avgis til massene innenfor ringmuren. Ringmursisolasjonen bør fordeles med en innvendig og en utvendig vangeisolasjon. En ringmur med bare innvendig isolering vil være vanskelig å frostsikre i kaldt klima. Det skyldes at lave temperaturer trekkes lenger inn under ringmursfundamentet. Dette hindres ved bruk av en ytre ringmursisolasjon. Ringmuren, som er eksponert for lave luft- og jordtemperaturer, er nærmest å betrakte som en yttervegg - og bør være tilsvarende godt isolert. Det samme vil gjelde for en kjellervegg. Det er også viktig at en har en betydelig tykkelse på gulvisolasjonen, og da spesielt i randsonen. God gulv- og ringmursisolasjon i kombinasjon med markisolasjon, vil bidra effektivt til å dempe temperatursvingningene i jordmassene innenfor ringmuren.

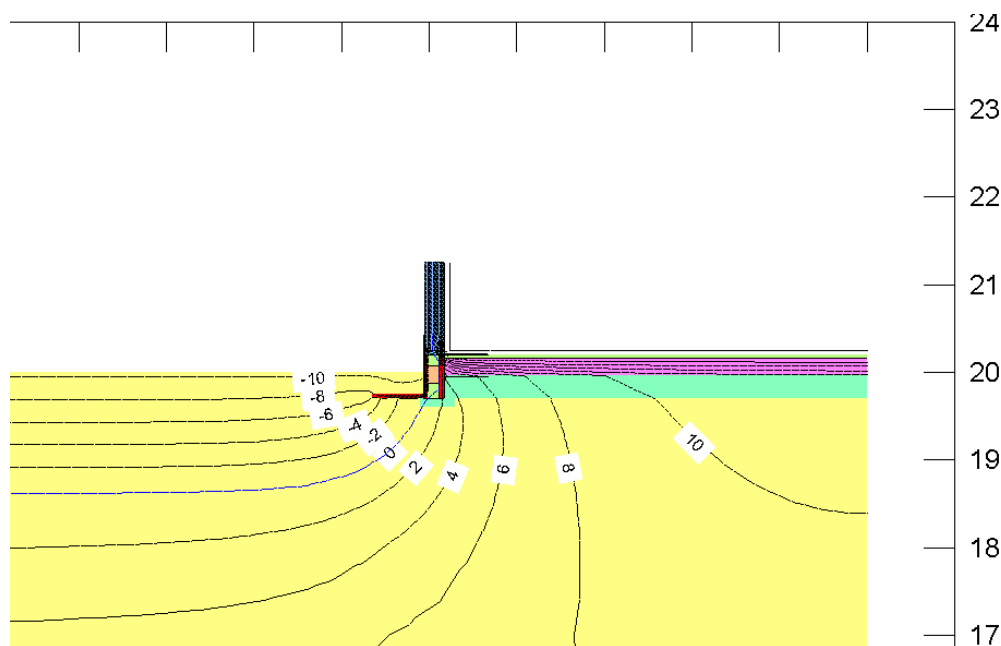
Beregningene viser at relativt hurtige temperatursvingninger (dimensjonerende tredøgns middeltemperatur) vil påvirke både frostsikringen og gulvtemperaturene og dermed varmetapet i randsonen. Også i denne sammenhengen vil bruk av markisolasjon og tykk ringmursisolasjon være viktige tiltak for dempe nedkjølingen i perioder med stor kuldeintensitet. En ringmur med en ytre og indre isolasjon med betongkjerne har betydelig varmekapasitet som er gunstig når det gjelder å dempe hurtige temperatursvingninger.

Frostsikringstiltak i form av økt tykkelse på ringmur- og markisolasjonen, sammen med grunnens store varmekapasitet, gjør at en får en effektiv utjevning av temperatursvingningene i massen innenfor ringmuren. Når en ser bort fra kuldebroen i ringmurtoppen, viser beregningene at det er en viss sammenheng mellom frostsikring og varmetap i randsonen. Jo mer en øker tykkelsen på gulvisolasjonen for å redusere varmetapet til grunnen i randsonen, desto mer frostutsatt er ringmursutførelsen. Det betyr at nødvendige tiltak for å frostsikre ringmuren må utnytte jordvarmen som for kalde bygninger. En måte å utnytte jordvarmen er å bruke markisolasjon, se Figur 7.1 og Figur 7.2 der det tydelig fremgår forskjeller i frostnedtrengningen i randsonen med og uten markisolasjon. For å begrense mengden av markisolasjon er det en fordel å ha en relativt tykk ringmursisolasjon som bør fordeles med en utvendig og innvendig isolasjon. En unngår dermed at lave temperaturer trenger for langt inn under ringmursfundamentet og at varme som avgis fra gulvflaten direkte tapes ut gjennom ringmuren.



Figur 7.1

Temperaturforholdene i grunnen under dimensjonerende vinterforhold. Avstanden mellom delestrekene i horisontal og vertikal retning er 1,0 m. Materialene i grunnen er telefarlige, og det er ikke brukt markisolasjon. Varmetap i en 0,5 m bred randsone er beregnet til 3,16 W/m



Figur 7.2

Samme tilfelle som Figur 7.1, men med bruk av markisolasjon som frostsikrer ringmursfundamentet. Avstanden mellom delestrekene i horisontal og vertikal retning er 1,0 m. Varmetap i en 0,5 m bred randsone er beregnet til 2,92 W/m

Nå vil det også være slik, og da i spesielt kaldt klima, at nødvendige tiltak for å frostsikre ringmurselementet vil kreve betydelig tykkelse på ringmursisolasjonen og tilsvarende økt tykkelse og bredde på markisolasjonen, se kapittel 8. Både ringmur- og markisolasjonen vil derfor være klimaavhengige. Da både tykkelsen på ringmursisolasjonen og mengden markisolasjon har betydning for gulvets varmetap, vil en dermed være sikret et lavt varmetap

i randsonen uavhengig av klimaforholdene. Det forutsettes da at en opprettholder et generelt krav om en betydelig tykkelse på gulvisolasjonen. Det er viktig å velge ringmursløsninger som er enkle å frostsikre. For eksempel bør ensidig innvendige isolerte ringmurer i kaldt klima unngås. Et overordnet krav vil alltid være å sikre et godt inneklima. En bør derfor aldri la hensyn til frostsikring gå på bekostning av et økt varmetap i randsonen. Vi har tilstrekkelig kunnskap i dag til å kunne tilfredsstille både et godt inneklima og frostsikre fundamentløsninger. En stiller da i prinsippet krav til en betydelig tykkelse på gulvisolasjonen og da særlig i randsonen, mens tykkelsen på ringmursisolasjonen eventuelt mengden markisolasjon vil være diktert ut fra kravet om frostsikkerhet uavhengig av materialene i grunnen.

Stasjonære beregninger for å bestemme gjennomsnittlig årlig varmetap (etter NS-EN ISO 13370, ev. med korreksjoner for periodisk varmestrøm), der det ikke tas hensyn til grunnens varmekapasitet inklusive innfrysingsvarme eller hurtige temperatursvingninger, vil ha relativt begrenset anvendelse og må gjerne suppleres med tilleggsberegninger. Det er generelt uheldig å operere med en rekke ulike beregningsmetoder (beregningsstandarter) som bare gir delvis svar på en sammensatt problemstilling. For eksempel vil prosedyren for å bestemme varmetapet fra gulv på grunnen etter beregningsstandarten NS-EN ISO 13370 måtte splittes i flere operasjoner;

- beregning av årlig gjennomsnittsvarmetap (nominell U-verdi)
- beregning av periodisk varmestrøm
- beregning av tilleggsvarmetap fra kuldebro i ringmurtoppen.

Beregning av dimensjonerende varmebehov (med og uten gulvvarme) og fastlegging nødvendige tiltak for frostsikring dekkes ikke av denne standarden – her må man ty til andre standarder.

Da tiltak for frostsikring har betydning for varmetapet kan det være nødvendig å gjenta beregningene med nye verdier for ringmur- og markisolasjon. Alternativt kan en bruke allerede beregnede verdier for ringmur- og markisolasjon for en gitt tykkelse på gulvisolasjonen for eksempel 200 mm, se kapittel 8.

Det er viktig å være klar over at det er særlig under fyringssesongen at varmetapet fra gulvet har betydning for varmebalansen og dermed varmebehovet. Dette omfatter både energi-, effekt-, og frostsikringsberegninger. For godt isolerte bygninger vil et visst varmetap fra gulvet til grunnen i sommerhalvåret ofte være fordelaktig for å redusere temperaturtoppene.

Som det fremgår kreves det en relativt omfattende prosedyre for å bestemme varmetapet fra gulv på grunnen. Det er derfor et relevant spørsmål å stille om ikke de nye beregningsstandardene er unødig kompliserte når en likevel må foreta egne beregninger for å bestemme nødvendige frostsikringstiltak og tilleggsvarmetap på grunn av kuldebro i ringmurtoppen, og dermed effektbehov. Med relativt tilnærmede beregningsmetoder og i tillegg usikre antakelser om grunnens fysiske og termiske egenskaper, kan sluttresultatet bli beheftet med relativt stor unøyaktighet. For eksempel vil siltige materialer kunne ha en varmeledningsevne i ufrosset tilstand som leire på ca. 1,5 W/mK, mens samme materialet i frosset tilstand vil kunne ha en varmeledningsevne på 2,8 W/mK, på linje med fjell. Samtidig vil en ofte ha sammensatte grunnforhold med store lokale variasjoner i materialenes termiske og fukttekniske egenskaper.

Nå vil det være et spørsmål om denne unøyaktigheten vil ha noen vesentlig betydning for bestemmelse av bygningens samlede varmetap. Varmetapet fra et godt isolert gulv på grunnen vil kunne ligge i størrelsesorden 10 – 15 % av bygningens samlede transmisjonsvarmetap i vinterhalvåret. En usikkerhet i bestemmelsen av varmetapet fra gulvet over vinterhalvåret i størrelsesorden 10 – 20 % vil da utgjøre en samlet usikkerhet i

bestemmelsen av transmisjonsvarmetapet på 1-2 %. Dersom infiltrasjons- og ventilasjonstapet tas hensyn til, vil denne usikkerheten ligge i størrelses orden promille av bygningens samlede varmetap i vinterhalvåret.

Dette åpner for muligheten til å innføre vesentlig enklere prosedyrer for bestemmelse av gulvets varmetap. Det er imidlertid meget viktig å unngå kuldebro i overgangen ringmur/vegg/gulv som lokalt kan gi lave gulvtemperaturer. Her kan preaksepterte løsninger med angitte tilleggsvarmetap benyttes, eller egne kuldebroberegninger kan utføres.

Ut over et lavt varmetap, er det flere forhold som taler for en økt tykkelse på gulvisolasjonen. Her vil forbedret komfort være et vesentlig moment. Det er generelt uheldig å kompensere for lave gulvtemperaturer ved å øke lufttemperaturen. Det er derfor ikke snakk om en overdimensjonering i vanlig betydning ved å øke isolasjonstykkelsen utover det som et lavt varmetap skulle tilsi. I byggeteknisk sammenheng er det som regel relativt enkelt og rimelig å øke tykkelsen på gulvisolasjonen.

I forskriftssammenheng er det vanlig å stille funksjonskrav til selve bygningskonstruksjonen når det gjelder varmetap. Dette igjen stiller krav til U-verdier eller varmemotstand til de ulike bygningsdeler i klimaskjermen. Den angitte maksimale U-verdien for gulv på grunnen bør prinsippielt gjelde selve gulvkonstruksjonen uten hensyn til bidraget fra varmemotstanden i grunnen. Dermed sikres en mer entydig fastsettelse av varmemotstanden for gulvkonstruksjonen. Varierende grunnforhold, hydrologiske forhold, vegetasjon, snødekke, etc. kan i prinsippet inngå som deler av klimabelastningen, som kan være sterkt lokalt betinget og kan endres betydelig over byggets levetid.

Det kan for eksempel angis en minste varmemotstand for ulike soner av gulvet avhengig av avstanden fra ringmuren. Tilsvarende kan en angi en maksimal U-verdi for ringmuren og da spesielt i ringmurtoppen. Maksimal tykkelse på ringmursisolasjonen må kontrolleres mot kravet til frostsikring, som ytterligere kan forutsette tykkere ringmursisolasjon. En kompenserer dermed for økt varmetap i randsonen uavhengig av bygningens størrelse. Funksjonskrav til frostsikring vil normalt medføre bruk av markisolasjon uavhengig av materialene i grunnen. Markisolasjonens størrelse vil primært være bestemt av kravet til frostsikring i telefarlig grunn. Frostsikkerhet i denne sammenheng omfatter både gjennomfrysning av ringmuren og frost under ringmursfundamentet.

Når det gjelder valg av referansetemperaturer i grunnen vil disse være avhengig av om det er anlagt gulvvarme eller ikke. Her kan en velge ulike beregningsprosedyrer som kan være mer eller mindre kompliserte. Imidlertid vil det som tidligere vist være slik at med økende krav til større isolasjonstykkelser og generelt bruk av markisolasjon, vil svingningene i jordtemperaturene og dermed varmetapet være betydelig dempet. Det betyr at grunnmaterialenes termiske egenskaper spiller en mindre rolle. Det bør derfor være mulig med tilstrekkelig nøyaktighet å bruke samme beregningsgrunnlag ("U-verdi" og temperaturdifferanser) både til energi- og effektberegninger. Det avgjørende er at en opererer med tilstrekkelig nøyaktighet i energi- og effektberegningene under fyringssesongen. En vil dermed kunne ivareta både et godt inneklima og lavt varmetap, samtidig som utførelsen er slik at en generelt er sikret mot frostproblemer.

En kan for eksempel angi en "U-verdi" eller varmemotstand for selve gulvkonstruksjonen uavhengig av grunnens varmemotstand for en ytre randzone på 5,0 m uavhengig av byggets størrelse. Det betyr at for mindre bygninger vil det være mest praktisk å bruke samme isolasjonstykkelse på hele gulvet. En kan eventuelt også snevre inn randsonen slik at det stilles et skjerpet krav til en ytre randzone på for eksempel en meter. I indre sone for større bygninger kan det stilles et lavere krav til gulvkonstruksjonens varmemotstand. Også i indre sone bør isolasjonstykkelsen være så stor at usikkerheten i anslag i grunnens termiske

egenskaper ikke gir for store utslag. En ønsker også generelt å ha et godt inneklima i den perioden det tar før en eventuelt får bygget opp et varmemagasin under gulvet.

En ender da opp med en beregningsprosedyre basert på bruk av to eller tre faste "U-verdi" eller varmemotstander for selve gulvkonstruksjonen. En "U-verdi" for en randzone for eksempel med bredde 5,0 m, eventuelt supplert med en egen "U-verdi" for en ytre randzone på en meter og en annen for en indre sone. Når det gjelder referansetemperaturene i grunnen kan disse fastsettes på ulike måter. Det enkleste er å angi en fast temperatur for randsonen avhengig av stedets årsmiddeltemperatur og tilsvarende for en indre sone.

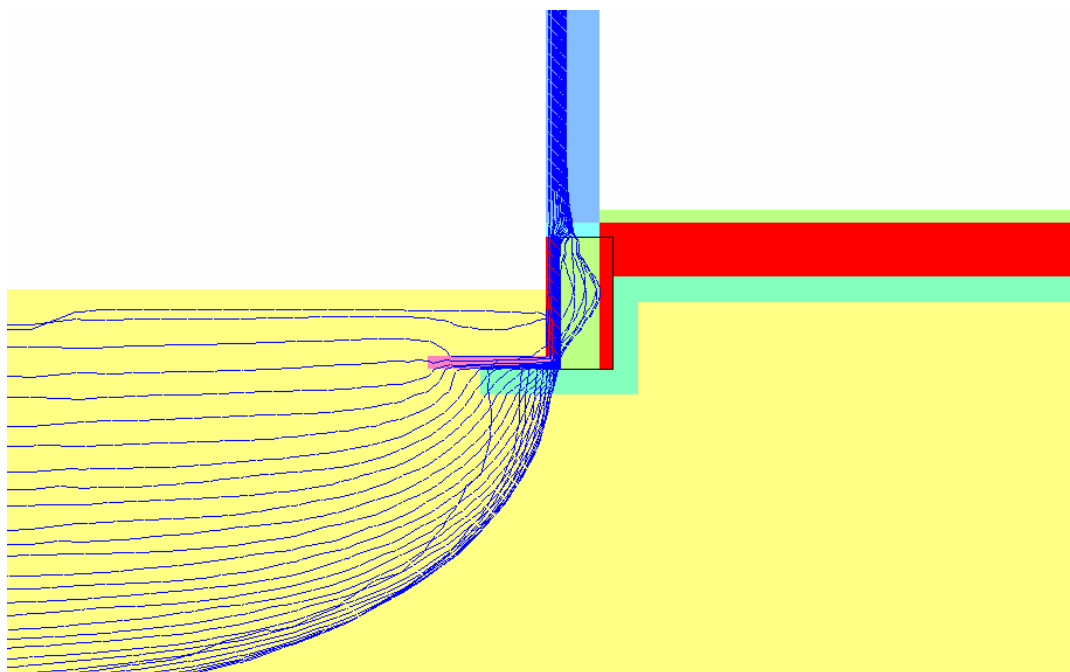
Når det gjelder ringmuren kan det tilsvarende stilles krav til utførelsen. Dette kan for eksempel være en maksimal U-verdi for ringmurselementet for å sikre minimal kuldebro i ringmurtoppen. Dette vil imidlertid kunne være ivaretatt gjennom kravet til tykkelse på ringmursisolasjonen for å unngå gjennomfrysing i deler av ringmuren. Utførelsen av gulvkonstruksjonen i ringmurtoppen bør fortrinnsvis være slik at veggtykkelsen ikke vil være av avgjørende betydning for tykkelsen på ringmursisolasjonen. For gulv på grunnen bør en generelt bruke markisolasjon uavhengig av grunnforholdene. Det bør derfor også angis en minste bredde og tykkelse på markisolasjonen. Frostsikringstiltakene, som både omfatter tykkelsen på ringmursisolasjonen og bredde og tykkelse på markisolasjonen, er sterkt klimaavhengige og har direkte innvirkning på varmetapet fra gulvflaten. En får på denne måten en bedre klimatilpasning av gulvkonstruksjonen. Da en fastsettelse av tiltak for frostsikring krever relativt kompliserte beregninger, er det utarbeidet en tabell der disse data kan leses ut som funksjon av klimabelastningen, se kapittel 8.

7.2 Eksempel på forenklet beregning

Mindre småhus i Norge har gjerne en grunnflate $\leq 100 \text{ m}^2$. Med en bredde på randsonen lik ca. 5 m vil da normalt hele gulvflaten beregningsmessig kunne betraktes som en randzone.

I beregningseksempelen er det forutsatt at bygningen er plassert i Oslo-området. For mindre bygninger vil det være mest hensiktsmessig å bruke samme isolasjonstykkelse for hele gulvflaten. Gulvets "U-verdi" fastsettes på vanlig måte som for andre bygningsdeler i klimaskjermen (tak og yttervegger over terreng), dvs. uten hensyn til grunnens varmemotstand. Da gulvisolasjonen har direkte ledende kontakt med grunnen ser en bort fra utvendig varmeovergangsmotstand. Det er en vurderingssak om pukklaget under gulvisolasjonen eventuelt skal regnes med i gulvets varmemotstand. Da pukklaget ikke primært inngår i bygningskonstruksjonen bør det generelt ikke tas med i gulvets "U-verdi".

Dersom en tar utgangspunkt i en vanlig gulv på grunnen løsning med 200 mm gulvisolasjon og 15 mm parkett har denne en "U-verdi" på $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, se Figur 7.3. Figur 7.3 viser frostnedtrengningen i grunnen for en gulv på grunnen konstruksjon med 200 mm tykk gulvisolasjon og et ringmurselement med 50 mm innvendig og 50 mm utvendig isolasjon. Det er brukt Oslo-klima som referanse. Grunnforholdene er silt. Markisolasjonen frostsikrer ringmurselementet og innvendig ringmursisolasjon hindrer frostgjennomslag av ringmuren. Dersom en regner med et 150 mm tykt pukklag vil "U-verdien" reduseres til $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Beregninger etter NS-EN ISO 13370 gir for dette tilfellet en nominell gjennomsnittlig årlig "U-verdi" på $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ når grunnmaterialenes varmemotstand er regnet med. For godt isolerte gulv i mindre bygninger vil normalt gulvisolasjonens varmemotstand være dominerende i forhold til grunnens varmemotstand.



Figur 7.3

Gulv på grunnen brukt som referanse i regneeksemplet. Gulvisolasjonen er 200 mm og tykkelse på inn- og utvendig ringmursisolasjon 50 mm. Det er brukt 0,6 m bred og 50 mm tykk markisolasjon. Det er regnet med veggtykkelse på 200 mm. Grunnen består av mellomstilt med varmeledningsevne i ufrosset og frosset tilstand på henholdsvis 1,7 W/mK. og 2,8 W/mK. For å unngå kuldebro i randsonen er gulvet trukket noe opp i ytterveggen

I stedet for å koble gulvets "U-verdi" mot svingningene i utelufttemperaturen (som i NS 3031), kan en bruke en enkel temperaturreferanse i grunnen. Denne temperaturreferansen kan for eksempel være en konstant temperatur i grunnen i en indre og en ytre sone, avhengig av klimaforholdene på stedet. Det bør velges temperaturdifferanser som gjør at de forenklete beregningene vil kunne danne grunnlag for både energi- og effektbestemmelser.

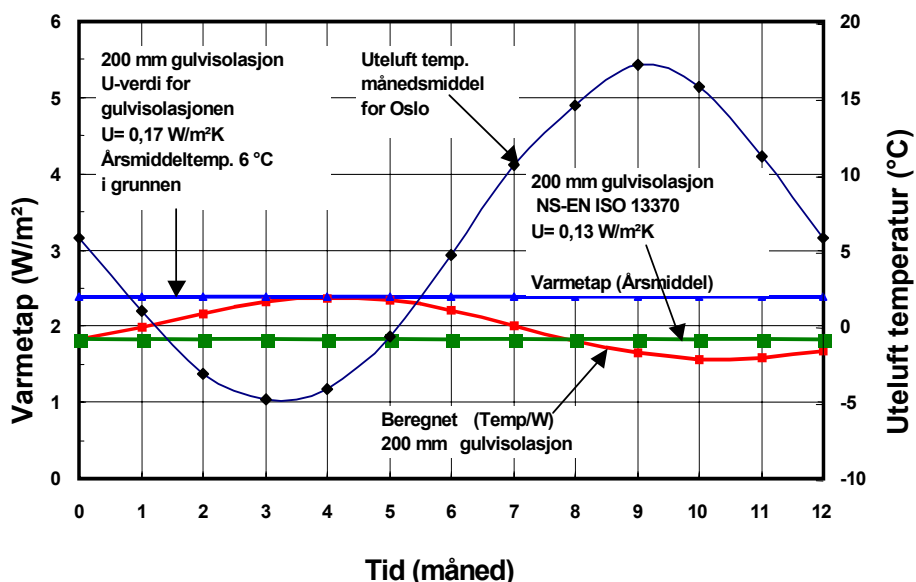
Gjennomsnittlig "U-verdi" for gulvkonstruksjonen skal derfor ikke kobles sammen med utlufttemperaturen som for andre bygningselementer på klimaskjermen, men til en referansetemperatur for grunnen umiddelbart under gulvisolasjonen. Bortsett fra en relativt smal randsonen er denne temperaturen tilnærmet konstant over året. Ved bruk av markisolasjon og en tykkelse på ringmuren som hindrer gjennomfrysning av ringmuren, vil også temperatursvingningene i randsonen være meget dempet over året.

Som en første approksimasjon kan vi anta at gjennomsnittstemperaturen under gulvisolasjonen er tilnærmet konstant og lik årsmiddeltemperaturen, som for Osloområdet er 6,0 °C. Med en innelufttemperatur på 20°C vil varmetapet til grunnen fra gulvet med "U-verdi" 0,17 W/m²K være konstant over året og lik 2,38 W/m², se Figur 7.4. Figur 7.4 viser resultater av ulike metoder for å beregne varmetapet fra gulvet til grunnen for gulvkonstruksjonen i Figur 7.3.

Ved bruk av utelufttemperaturen som referanse må U-verdien multipliseres med en faktor $(20-t_m)/(t_u)$ der t_m er årsmiddeltemperaturen og t_u er utelufttemperaturen som for eksempel kan være månedsmiddeltemperaturen. Gjennomsnittlig årlig U-verdi for den aktuelle konstruksjonen i Figur 7.3 bestemmes etter NS-EN ISO 13370 til 0,13 W/m²K. Dette er den stasjonære delen av varmetapet og skal relateres til årsmiddeltemperaturen som i dette tilfellet er 6,0 °C. Denne nominelle årlige U-verdien må deretter korrigeres for periodiske svingninger i utelufttemperaturen etter metode angitt i NS-EN ISO 13370, se Figur 7.5. Samtidig må det korrigeres for faseforskyvningen i varmetapet, som ligger i størrelsesorden en måned.

I Figur 7.6 er det også inntegnet månedlig varmetap beregnet ut fra gjennomsnittlig årlig U-verdi bestemt etter NS-EN ISO 13370 og månedsmiddeltemperaturen for uteluften. Dette er vanlig prosedyre etter NS 3031 der utelufttemperaturen direkte kobles mot gulvets "U-verdi" (inkl. grunnens varmemotstand). Denne metoden er også benyttet i et beregningseksempel (Tillegg L) i den nye beregningsstandarden NS-EN 832 *Beregning av bygningers energibehov til oppvarming* [21]. Her er varmetapskoeffisienter (W/K) summert for gulv på grunnen, vegger, vinduer og himling. Som det fremgår av Figur 7.6 vil en direkte kobling av gulvets gjennomsnittlige "U-verdi" definert i NS-EN ISO 13370 mot utelufttemperaturen gi et uforholdsmessig høyt varmetap fra gulvet i vinterhalvåret.

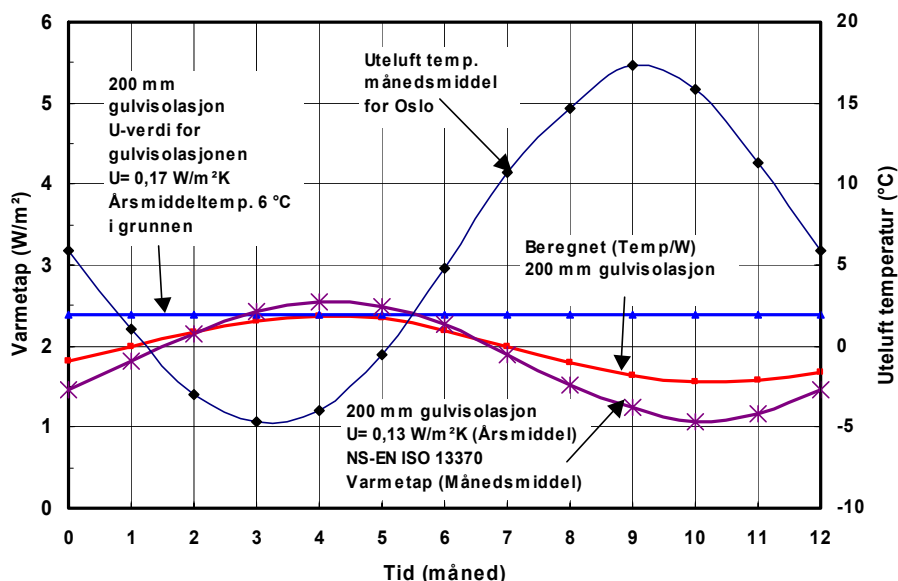
Det er gjennomført tilsvarende numeriske beregninger med dataprogrammet Temp/W der dimensjonerende femdøgns middeltemperaturer for Oslo er brukt som klimareferanse. Femdøgns middeltemperaturer gjelder ikke for et normalår, men er valgt under forutsetning av et år med dimensjonerende frostmengde. Arealet under temperaturkurven og 0°C er da lik maksimal frostmengde på stedet. I dette tilfellet er det valgt Oslo klima som referanse med maksimal frostmengde 25 000 h°C. Beregningene er todimensjonale og det er tatt hensyn til grunnmaterialenes innfrysingsvarme og temperaturavhengige materialeegenskaper. Det er brukt en 50 mm tykk og 0,6 m bred markisolasjon.



Figur 7.4

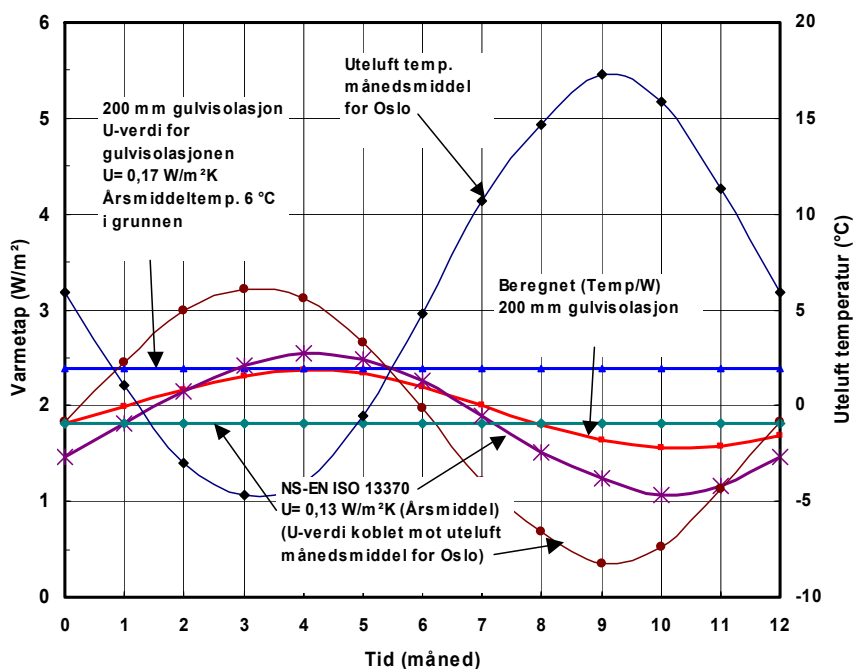
Spesifikt gjennomsnittlig varmetap over året fra gulv på grunnen (kvadratisk 10 x10 m) med bruk av ulike beregningsmetoder. Gulvisolasjonen har tykkelse 200 mm. Det er inntegnet månedsmiddeltemperaturene over året for Oslo klima. Det er brukt dimensjonerende femdøgns middeltemperaturer for numeriske (Temp/W) varmetapsberegninger og inntegnet gjennomsnittlig årlig varmetap ifølge NS-EN ISO 13370

Figur 7.5 viser at svingningene i varmetapet over året er vesentlig større ved bruk av beregningsstandarden NS-EN ISO 13370 enn ved mer nøyaktige beregninger. Dette skyldes blant annet at en regner med konstante materialparametere uten å ta hensyn til latent varme i fuktige materialer.



Figur 7.5

Spesifikt gjennomsnittlig varmetap over året fra gulv på grunnen med bruk av ulike beregningsmetoder. Varmetapsberegninger etter NS-EN ISO 13370 er korrigert for periodiske (månedlige) temperatursvingninger



Figur 7.6

Varmetapsberegninger korrigert for periodiske (månedlige) temperatursvingninger etter NS-EN ISO 13370. Det er også inntegnet varmetapet over året der gjennomsnittlig årlig U-verdi etter NS-EN ISO 13370 er korrigert ved direkte å bruke månedsmiddeltemperaturen for uteluften

Maksimalt gjennomsnittlig varmetap over gulvflaten er etter Temp/W beregninger bestemt til 2,38 W/m² og tilsvarende 2,54 W/m² for NS-EN ISO 13370 beregninger og har en faseforskyvning når det gjelder utelufttemperaturen på ca. en måned. Det fremgår også at svingningene i varmetapet over fyringssesongen er relativt beskjedent. Varmetapet i sommerhalvåret er av mindre interesse i denne sammenhengen. Det er interessant å bemerke at variasjonen i gjennomsnittlig varmetap over fyringssesongen for de tre beregningsmetodene bare varierer fra 1,9 til 2,5 W/m². Basert på Temp/W beregningene faller varmetapet under sommerforhold til 1,6 W/m², mens den ved beregninger etter NS-EN ISO 13370 faller ned til ca. 1,1 W/m². Større svingninger i varmetapet over året ved beregning i henhold til NS-EN ISO 13370 skyldes blant annet konstante materialparametere. Både NS-EN ISO 13370 og Temp/W beregninger forutsetter at all varmeutveksling foregår ved varmeledning. Det betyr i praksis at det er lagret en betydelig varmemengde i grunnen under gulvisolasjonen og at materialene i grunnen inngår som en del av gulvisolasjonen. På grunn av et beskjedent varmetap vil denne varmelagringen kunne ta år. Imidlertid vil det som tidligere nevnt også være andre faktorer som kan påvirke temperaturforholdene i grunnen. I perioder med stor regnintensitet eller under snøsmelting med frossen grunn vil pukklaget under gulvisolasjonen kunne tilføres betydelige vannmengder. Dette vil kunne kjøle ned grunnen og jevne ut temperaturvariasjonene over året. Det vil kunne øke varmetapet i fyringsperioden utenfor frosts sesongen. Påtvunget eller naturlig konveksjon i porøse steinfyllinger vil tilsvarende kunne bidra til en temperaturutjevning. Med mindre en bruker pukklaget under bygningen aktivt som et fordryningsbasseng for overvann, vil denne temperaturutjevningen særlig være aktuell for mindre bygninger innenfor en randsone på ca. 5,0 m.

Det fremgår av Figur 7.5 at varmetapet fra en godt isolert gulv på grunnen for et småhus uten kuldebro i ringmurtoppen og med markisolasjon er meget beskjedent. Det vil selv under dimensjonerende forhold være lavere enn 2,5 W/m². Tilsvarende varmetap for tak med U-verdi 0,15 W/m²K og vegger med U-verdi 0,22 W/m²K vil være 5 til 7 W/m² når dimensjonerende femdøgnsmiddeltemperatur legges til grunn. Under dimensjonerende forhold med utelufttemperatur – 20°C for Oslo vil tilsvarende varmetap for tak og vegger økes til 6 og 9 W/m².

Figur 7.4 og Figur 7.5 viser at det med godt isolerte gulv på grunnen bør være mulig å foreta forenklinger når det gjelder å fastlegge gjennomsnittlige varmetap uten at dette har vesentlig betydning for nøyaktigheten. Dersom en bare tar hensyn til gulvkonstruksjonens varmemotstand og regner med en konstant temperatur lik årsmiddeltemperaturen under gulvisolasjonen, vil en i dette tilfellet for mindre bygninger ende opp med et gjennomsnittlig varmetap over fyringssesongen som er noe høyere enn de mer nøyaktig beregnede verdier. Forskjellen ligger i størrelsesorden 5% og vil særlig gjelde perioder før og etter frostperioden (perioder der grunnen ofte tilføres overflatevann). På grunn av en smal randsone på gulvoverflaten med reduserte gulvtemperaturer vil verdiene for varmetapet også kunne brukes som underlag for effektberegninger. Det kan eventuelt være nødvendig å korrigere for kuldebroen i ringmurstoppen som påvirkes av hurtige svingninger i utelufttemperaturen, se Figur 7.7.

Hvis vi i det viste eksemplet ser bort fra kuldebrovirkningen fra svillen, regner en endimensjonal varmestrømsbane og forutsetter et 50 mm tykt betonggulv, vil tilleggsvarmetapet Ψ med 110 mm tykk ringmursisolasjon tilnærmet være:

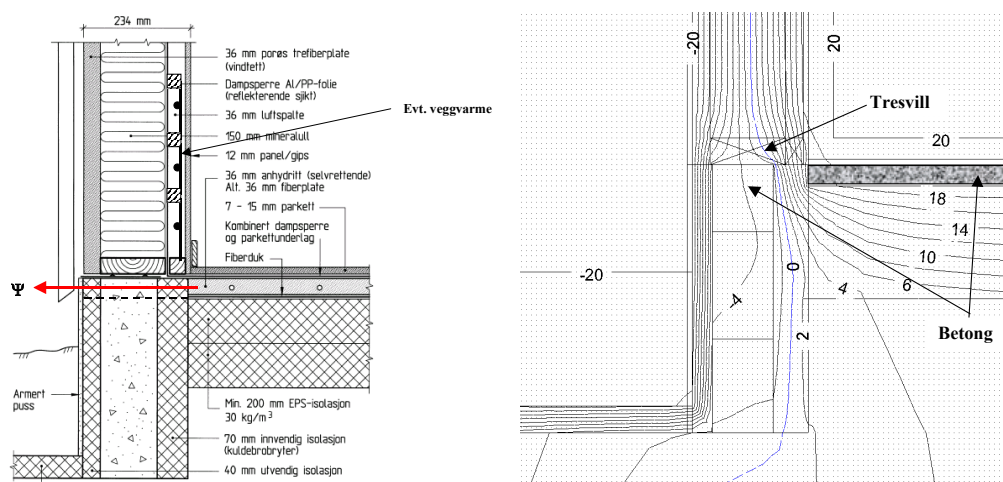
$$\Psi = (1/\Sigma R) \cdot A = (1/3,2) \cdot 0,05 = 0,016 \text{ W/mK}$$

ΣR er summen av varmemotstandene langs varmestrømsbanen, se Figur 7.7

I den forenklete beregningen ble gulvets varmemotstand koblet mot årsmiddeltemperaturen som for Oslo er 6,0 °C. Kuldebroberegningen i ringmurtoppen kan for eksempel gjennomføres ved å bruke dimensjonerende tredøgns middeltemperatur for Oslo som er -20 °C. Hvis en som i tidligere forenklete beregninger bruker årsmiddeltemperaturen for Oslo som referanse gir dette et tilleggsvarmetap Q_1 pr. meter ringmur lik:

$$Q_1 = \Psi \cdot \Delta t = 0,016 \cdot (20 + 6) = 0,42 \text{ W/m}$$

Dette varmetapet vil komme i tillegg til det tidligere beregnede varmetapet i en 0,5 m bred randzone. Numeriske effektberegninger tabell 3.4.1, gir en differanse i varmetapet i en 0,5 m bred randzone på 0,32 W/m. I dette tilfellet vil forskjellen i utelufttemperaturen ved å bruke dimensjonerende tredøgns temperatur og midlere femdøgntemperatur for en vinter med dimensjonerende frostmengde for Oslo være ca. 10 °C. Økningen av varmetapet i randsonen i en periode med dimensjonerende kuldeintensitet vil være beskjeden og ligge under 10 %. For en godt isolert ringmur vil i dette tilfellet effekten av kuldebroen i ringmurtoppen være beskjeden. For en dårligere isolert ringmur kan det imidlertid være nødvendig å foreta egne kuldebroberegninger. Det er for øvrig interessant å bemerke at svillen i en 200 mm bred yttervegg representerer en større kuldebro enn ringmurstoppen med samme bredde og med 50 mm innvendig og utvendig isolasjon. Dette vil igjen kunne påvirke gulvtemperaturen i randsonen. Det kan derfor være gunstig å bruke noe tilleggsisolasjon innenfor svillen som vist på Figur 6.4. Ved bestemmelse av temperaturer på gulvoverflaten i randsonen er det derfor viktig å se på den samlede konstruksjonen.



Figur 7.7

Eventuell kuldebro i ringmurtoppen gjør varmetapet fra gulvet i randsonen mer følsom for hurtigere svingninger i utelufttemperaturen. Isothermenes plassering er inntegnet under dimensjonerende forhold (-20°C) for Oslo. Tresvillen bør ha en innvendig kuldebrobryter, se Figur 6.4

Nominell U-verdi bestemt etter NS-EN ISO 13370 vil ligge under de mer nøyaktige beregnede verdiene og forutsetter ved effektberegninger at den mer dynamiske delen av varmetapet beregnes, og at en kompenserer for kuldebrovirkning i ringmurtoppen. En alternativ og forenklet måte å bestemme dimensjonerende effekt er å bruke den nye beregningsstandarden NS-EN 12831 *Varmesystemer i bygninger - Metode for beregning av dimensjonerende effektbehov* [11]. Denne standarden er imidlertid ikke tilpasset norske forhold i det maksimale tykkelse på gulvisolasjonen er begrenset til 150 mm. Som det fremgår her vil beregning av varmetap fra gulv på grunnen ved hjelp av internasjonale standarder være en relativt omfattende prosess. I tillegg kreves det en revisjon av standardene for å kunne brukes for norske forhold.

Forenklete beregninger av varmetapet uten spesielle kuldebroberegninger forutsetter at ringmuren har tilstrekkelig isolasjonstykkelse til å hindre frostgjennomslag og samtidig forhindrer kuldebro av betydning i ringmurtoppen. Frost innenfor ringmuren eller ringmursfundamentet hindres ved bruk av markisolasjon, som samtidig vil dempe temperatursvingningene for materialene innenfor ringmuren. Kombinasjonen ringmur- og markisolasjon fastlegges på bakgrunn av frostberegninger (se kapittel 8). I spesielle tilfeller kan det være nødvendig å foreta mer nøyaktige tilleggsberegninger for å fastlegge eventuell kuldebro i ringmurtoppen. En kuldebro i ringmurtoppen kompenseres mest effektivt ved å øke tykkelsen på ringmursisolasjonen og ikke gulvisolasjonen. Kuldebroens størrelse og utbredelse reduseres også ved å bruke en overbygning over gulvisolasjonen med lav varmeledningsevne. Dette kan være en utjevningssmasse med lav varmeledningsevne eller 22 mm tykke sponplater. Spesielt ved bruk av gulvvarme er det viktig å unngå kuldebro i randsonen. Samtidig bør en øke isolasjonstykkelsen over hele gulvflaten. Uten bruk av gulvvarme vil det være hensiktsmessig å øke tykkelsen på gulvisolasjonen i en mer begrenset sone nær ringmuren.

For bygninger som har større bredde enn 10 m vil en ha en indre sone med redusert varmetap. Imidlertid vil det som tidligere vist, være en rekke forhold som tilsier at en også i denne sonen bør opprettholde en betydelig tykkelse på gulvisolasjon. Dette kan gå på forhold som bruk av gulvvarme som også kan ettermonteres, store variasjoner i fuktforhold med vannføring, eventuelt også ventilasjon i grunnen, etc. I indre sone bør en også med god tilnærming kunne bruke en konstant temperatur under gulvisolasjonen.

Dersom en bruker en isolasjonstykkelse på for eksempel 200 mm over hele gulvflaten, viser beregningene at en i indre sone kan bruke en temperaturreferanse under gulvisolasjonen lik omtrent det dobbelte av årsmiddeltemperaturen. I tilfellet med Oslo klima vil det si ca. 12 °C. Dette fremkommer også ved stasjonære endimensjonale betraktninger med en konstant årsmiddeltemperatur 20 m nede i fjellgrunn. Varmetapet vil da i en indre sone med 200 mm gulvisolasjon, der det tas hensyn til grunnens varmemotstand, ligge i størrelsesorden 1,25 W/m². Her vil gulvkonstruksjonens reelle "U-verdi" ligge på 0,09 W/m²K. Dette vil beregningsmessig for Osloforhold gi en temperatur i grunnen umiddelbart under gulvisolasjonen på ca 13 °C. Nå vil årsmiddeltemperaturen i grunnen Norge varierer fra 7- 8 °C til 2-3 °C. Selv i kalde områder med årsmiddeltemperatur for luften nær frysepunktet viser målinger av grunnvannstemperaturen at denne neppe faller under 2 – 3 °C. Det betyr i praksis at forskjellen i jordtemperaturer umiddelbart under 200 mm tykk gulvisolasjonen for sentrale deler for større gulvflater bare vil ligge i størrelsesorden ± 1 °C med 12 °C som referansetemperatur. Ved å halvere isolasjonstykkelsen til 100 mm vil tilsvarende varmetapet til grunnen økes til ca. 1,65 W/m² eller med ca. 32%. Det betyr at massen under gulvisolasjonen har større varmemotstand enn gulvisolasjonen. Dette vil føre til at mer varme tilføres grunnen og temperaturen umiddelbart under gulvisolasjonen vil heves til vel 15 °C. Problemet med en økning av jordtemperaturene under gulvisolasjonen er at en ikke har noen garanti for at det ikke kan forekomme vannføring i grunnen som kan fjerne betydelige varmemengder. Referansetemperatur under gulvisolasjonen i indre deler av gulvet bør derfor velges konservativt. Ved stor usikkerhet i valg av grunnens varmetekniske egenskaper bør en bruke samme temperatur i grunnen over hele gulvflaten. Dette vil igjen føre til at det er fornuftig å bruke samme isolasjonstykkelse på hele gulvet. For å unngå fuktproblemer vil det generelt være en fordel å holde så lav temperatur på massen under gulvisolasjonen som mulig.

På bakgrunn av ovennevnte bør en alltid ha en viss minste tykkelse på gulvisolasjonen i indre sone for store bygg, for eksempel 100 mm. En vil da kunne unngå store varmetap og termisk treghet i en oppvarmingsperiode og samtidig kunne eliminere noe av usikkerheten i fastsettelsen av grunnens termiske egenskaper.

Ved bruk av gulvvarme bør tykkelsen på gulvisolasjonen økes med minst 30%. For eksempel dersom en for gulv uten gulvvarme bruker en isolasjonstykkelse på 200 mm, bør denne økes til minst 260 mm. Gulvkonstruksjonens "U-verdi" uavhengig av grunnens varmemotstand endres dermed fra ca. 0,18 til 0,14 W/m²K. Ved bruk av moderate overtemperaturer og god ringmursisolasjon vil varmetapet i randsonen delvis være kompensert og det er tilstrekkelig å ta hensyn til økningen i varmetapet over den øvrige gulvflaten. Når det gjelder referansetemperaturer i grunnen kan en bruke samme resonnement som for gulvet uten gulvvarme. Forskjellen er bare at med bruk av gulvvarme må en i stedet for innelufttemperaturen bruke temperaturen på varmfordelingssjiktet. For anlegg med beskjedne varmebehov kan en benytte dimensjonerende overtemperatur både i effekt og energiberegninger. Dersom en setter temperaturen på varmfordelingssjiktet til 26°C og for øvrig bruker årsmiddeltemperaturen for Oslo på 6,0°C som referansetemperatur i grunnen, får en følgende spesifikke varmetap i en randsonen på ca. 5,0 m med og uten gulvvarme. Gulvisolasjonen har tykkelsen 260 mm:

$$Q_{\text{uten gulvvarme}} = 0,036/0,2 * (19,8 - 6) = 2,5 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{\text{med gulvvarme } 26^{\circ}\text{C}} = 0,036/0,26 * (26 - 6) = 2,8 \text{ W/m}^2$$

Heves temperaturen på varmfordelingssjiktet til 35°C vil tilsvarende spesifikt varmetap med 260 mm gulvisolasjon øke til 4,0 W/m². Det kan da være grunnlag for ytterligere å øke isolasjonstykkelsen.

Dersom en i sentrale deler av gulvet i større bygninger har veldokumenterte grunnforhold og får bygget opp et varmemagasin under gulvisolasjonen, vil en som en god tilnærming kunne bruke 12 °C som referansetemperatur i grunnen umiddelbart under gulvisolasjonen. Vi får da følgende spesifikke varmetap:

$$Q_{\text{uten gulvvarme}} = 0,036/0,2 * (19,8 - 12) = 1,4 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{\text{med gulvvarme } 26^{\circ}\text{C}} = 0,036/0,26 * (26 - 12) = 1,9 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{\text{med gulvvarme } 35^{\circ}\text{C}} = 0,036/0,26 * (35 - 12) = 3,2 \text{ W/m}^2$$

Det ovennevnte eksemplet på en forenklet beregningsprosedyre må betraktes som en første tilnærming til problemstillingen og vil kreve ytterligere vurderinger. Det viktige er hurtig å komme frem med gulvutførelser og ringmursløsninger der en unngår kuldebroer og lave gulvtemperaturer i randsonen.

8 Frostsikringstiltak

8.1 Bakgrunn

Som grunnlag for å bestemme frostsikringstiltak er det brukt 200 mm tykk gulvisolasjon, og ringmurens dybde er minimum 300 mm. Da frostsikring er et randsoneproblem gjelder beregningene uavhengig av bygningens størrelse. Med frostsikring forutsettes det at frosten ikke trenger inn under ringmursfundamentet i telefarlig grunn. Som telefarlig materialer er det brukt silt (se tabell 8.1) fordi silt har relativt høy varmeledningsevne i frosset tilstand og er derfor dimensjonerende når det gjelder frostnedtrengning i telefarlige materialer. Det er også angitt nødvendig tykkelse av ringmursisolasjonen for å unngå gjennomfrysning av ringmuren i perioder med lave utelufttemperaturer. Frostgjennomslag av ringmuren er et særlig problem med innvendige isolerte ringmurer. I kaldere klima enn frostmengde 40 000 h°C vil vi anbefale også å bruke noe utvendig isolasjon. Ved bruk av utvendig isolasjon, eller ved bruk av isolasjon på begge sider av ringmuren, er det ikke nødvendig å legge isolasjon under ringmursfundamentet.

I fjellgrunn vil en kunne tillate frost under ringmurselementet. Derimot bør en unngå frostgjennomtrengning av ringmuren. Det er angitt nødvendig tykkelse på ringmursisolasjonen og tykkelse og bredde på markisolasjonen for å unngå frostgjennomtrengning av nedre deler av ringmuren. For kaldere klima enn frostmengde 30.000 h°C vil det kreve større isolasjonsbredder for markisolasjonen enn 2000 mm for å unngå gjennomfrysning av ringmuren. En må da sikre bunnledninger nær ringmursfundamentet mot frost. Alternativt kan en bruke noe dypere ringmur.

8.2 Resultater fra Temp/W beregninger

8.2.1 Beregningsgrunnlag

Tabell 8.1

Fysiske egenskaper for aktuelle materialer

Materialer	Volumetrisk varmekap. ufrosset tilstand [kJ/K m³]	Volumetrisk varmekap. frosset tilstand [kJ/K m³]	Varmelednings- -evne i ufrosset tilstand [kJ/døgn m K] (W/mK)	Varmelednings- -evne i frosset tilstand [kJ/døgn m K]	Volumetrisk vanninnhold
EPS	26.4	26.4	3.11 (0.036)	0.036	0
XPS	76	76	2.851 (0.033)	2.851 (0.033)	0
Betong	2010	2010	148.6 (1.72)	148.6 (1.72)	0
Grus/pukk	1072	1015	129.6 (1.5)	112.32 (1.3)	0.06
Svill	43.5	43.5	10.368 (0.12)	10.368 (0.12)	0
Silt	2800	1974	146.88 (1.7)	241.92 (2.8)	0.32

Tabell 8.2 gir oversikt over randbetingelsene for de forskjellige frostmengdene. Som grunnlag for frostberegningene er det brukt en harmonisk svingende utelufttemperatur for et år med maksimal frostmengde. Generelt er det i beregningene brukt femdøgns-middeltemperaturer og kontroll for gjennomfrysning av ringmuren med dimensjonerende tredøgns-temperatur.

Tabell 8.2

Randbetingelser for de forskjellige frostmengdene

Frostmengde (h°C)	Årsmiddeltemp. (°C)	Min. temperatur (°C)	Dim. temperatur (°C)
15000	6	-7,5	-20
20000	6	-9,6	-20
25000	6	-11,5	-20
30000	4	-12,8	-25
35000	3	-14,2	-26
40000	1,5	-15,4	-27
45000	1	-17	-27
50000	0,5	-18,5	-36
55000	0,5	-20,3	-37
60000	0,5	-22,1	-37

For hver av frostmengdene kjøres 3 beregninger:

1. Først kjøres en stasjonær beregning med årsmiddeltemperaturen som utelufttemperatur.
2. Deretter foretas beregningene med utelufttemperaturen som en sinuskurve. Dag 0 og dag nr. 180 har temperatur lik middeltemp. Dag 90 har temperatur lik minimum temperaturen.
3. Denne beregningen kjøres i 3 døgn med dimensjonerende tredøgns middeltemperaturen som utelufttemperatur. Initialverdien er fra beregning nr. 2. Den initialverdien fra 2 som velges, er den med 0-isoterm som "slår" lengst inn under konstruksjonen. Det viser seg at det er ca. dag 120, dvs. en faseforskyvning på ca. en måned fra tidspunktet med laveste utelufttemperatur.

I beregningene er det brukt en innelufttemperatur på 21 grader celsius. Ellers gjøres beregningene som beskrevet over.

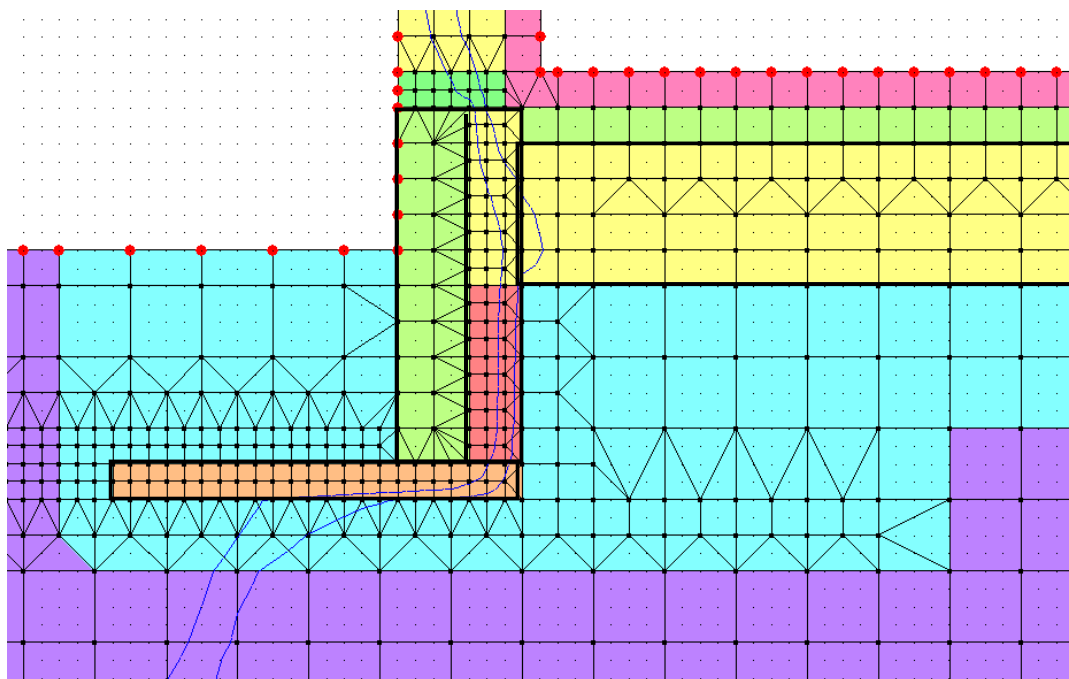
8.2.2 Utvendig isolert ringmur

Resultater for utvendig isolert ringmur er vist i Tabell 8.3. Ved hjørner og kalde boder eller vindfang skal isolasjonsbredden økes.

Tabell 8.3

Nødvendig frostsikring av utvendig isolerte ringmurer

Frostmengde (h°C)		Markisolasjon (mm)		Ringmursisolasjon (mm)
Inntil	Tykkelse	Bredde/hjørne		Tykkelse
15 000	50	300/600		50
20 000	50	400/600		50
25 000	50	500/900		50
30 000	50	700/1200		50
35 000	50	800/1200		70
40 000	50	1000/1500		80
45 000	70	1000/1500		90
50 000	70	1100/1800		110
55 000	80	1200/1800		130
60 000	110	1200/1800		150



Figur 8.1

Innvendig isolert ringmur, med frostgjennomslag i øvre deler av ringmuren.

8.2.3 Innvendig isolert ringmur

Resultater for innvendig isolert ringmur er vist i Tabell 8.4.

Tabell 8.4

Nødvendig frostsikring av innvendig isolerte ringmurer

Frostmengde (h°C)	Markisolasjon (mm)		Ringmursisolasjon (mm)
	Tykkelse	Bredde/hjørne	Tykkelse
Inntil 15000	50	300/600	110
20000	50	400/600	130
25000	50	600/900	150
30000	50	800/1200	170
35000	50	900/1500	190
40000	60	1000/1800	220

Bredden på markisolasjonen inkluderer ikke lengden under ringmuren.

For frostmengde over 40 000 h°C er det ikke å anbefale å bare bruke innvendig ringmursisolasjon. For å unngå frostgjennomslag av ringmuren vil dette kreve betydelig tykkelse på ringmursisolasjonen. For å unngå kuldebro i overgangen vegg/ringmur bør veggtykkelsen normalt økes for større tykkelser av ringmursisolasjonen. En smal svill vil også virke som en kuldebro og senke temperaturen på gulvoverflaten.

Vi ser da at en lett får noe frostgjennomslag i ringmurstoppen, som vil kunne føre til frostproblemer for ledningsoppstikk mot ringmuren.

8.2.4 Innvendig og utvendig isolert ringmur

Resultater for innvendig og utvendig isolert ringmur er vist i Tabell 8.5. Det er brukt samme isolasjonstykkelse på ringmuren innvendig og utvendig.

Tabell 8.5

Nødvendig frostsikring av innvendig og utvendig isolerte ringmurer

Frostmengde (h°C)	Markisolasjon (mm)		Ringmursisolasjon (mm)
	Tykkelse	Bredde/hjørne	Tykkelse
Inntil 15000	50	300/600	50x2
20000	50	400/600	50x2
25000	50	500/900	50x2
30000	50	800/1200	50x2
35000	50	900/1500	50x2
40000	70	1000/1500	50x2
45000	70	1200/1800	50x2
50000	100	1300/1800	100x2
55000	100	1700/2400	100x2
60000	100	1900/2400	100x2

8.2.5 Fjellgrunn

For fjellgrunn er silt byttet ut med fjell med varmeledningsevne 3.5 W/mK (tilsv. 302,4 kJ/døgn mK). Volumetrisk varmekapasitet er $2 \cdot 10^6$ J/m³K, eller $2 \cdot 10^3$ kJ/m³K. Det er ikke regnet med vanninnhold i fjell.

I fjellgrunn tillates frost under ringmursfundamentet. Men vi ønsker primært ikke frost innenfor ringmuren. Ved å følge kravene under hindrer en frost innenfor ringmuren.

Innvendig og utvendig isolert ringmur

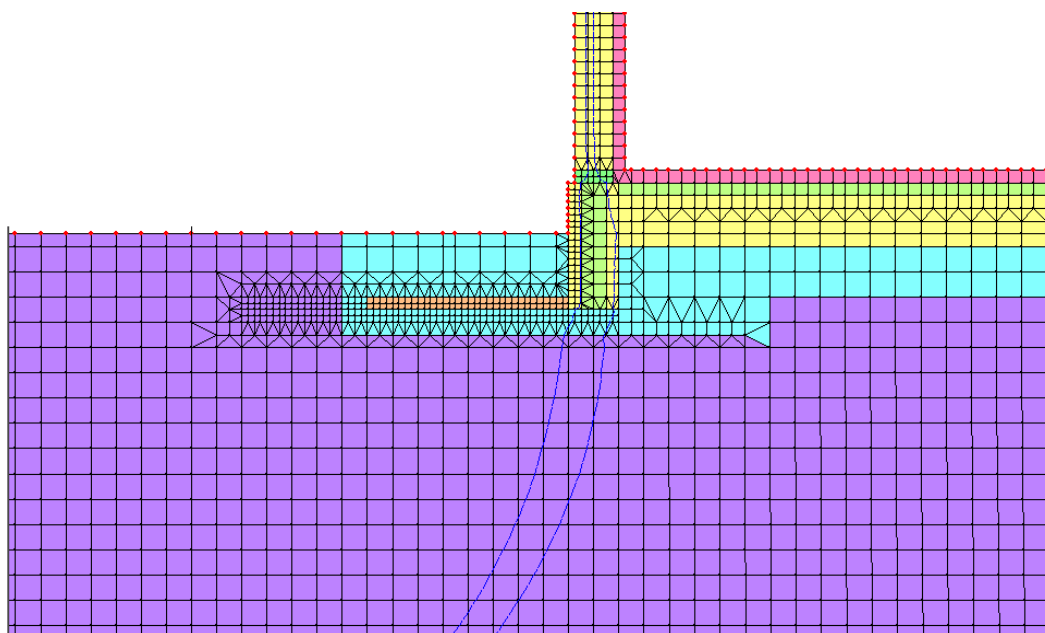
Samme isolasjonstykkelse utvendig og innvendig, se tabell 8.6.

Tabell 8.6

Nødvendig frostsikring av innvendig og utvendig isolerte ringmurer ved fjellgrunn

Frostmengde (h°C)	Markisolasjon (mm)		Ringmursisolasjon (mm)
Inntil	Tykkelse	Bredde	Tykkelse
15000	50	500	50x2
20000	50	800	50x2
25000	60	1000	50x2
30000	70	1800	70x2

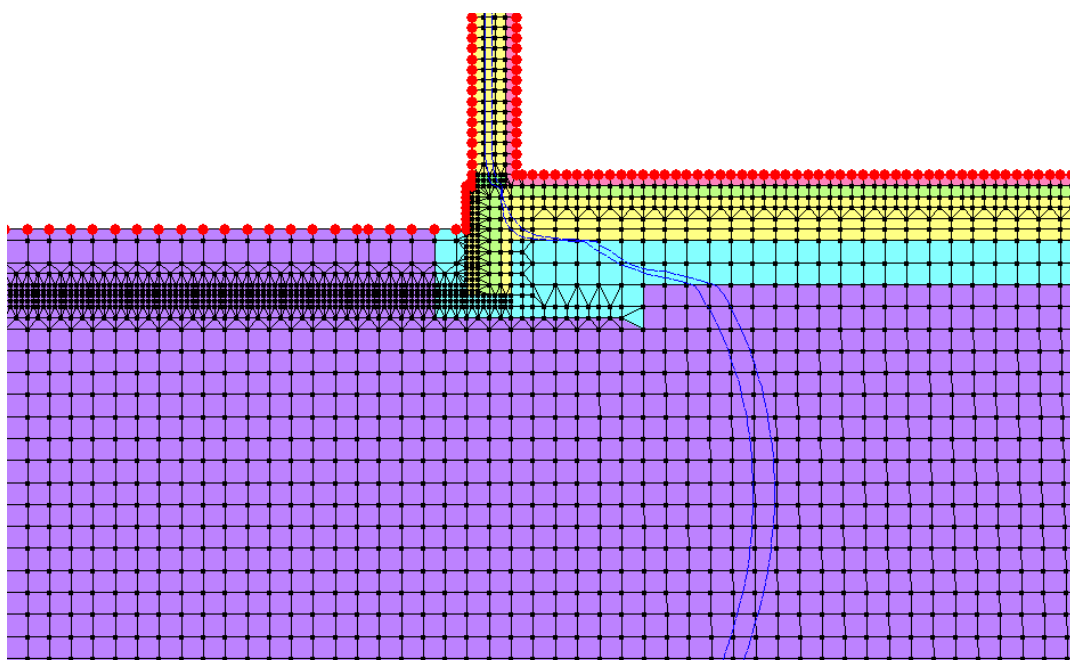
For frostmengder over 30.000 kreves bredere markisolasjon enn 2 meter. Bunnledninger nær ringmursfundamentet må da forstikres spesielt.



Figur 8.2

Gulv på grunnen i fjellgrunn med bruk av markisolasjon. Frostmengden er 30.000 h°C og vi har ingen frostinntrengning innenfor ringmuren.

Figur 8.3 viser et resultat når det ikke er brukt markisolasjon. Frostmengden er 30.000 h°C og ringmursisolasjonen er lik 50 mm utvendig og 50 mm innvendig.



Figur 8.3

Gulv på grunnen i fjellgrunn uten markisolasjon. Frostmengden er 30.000 h°C, og vi har betydelig frostinntrengning innenfor ringmuren.

Innvendig isolert ringmur

Tabell 8.7

Nødvendig frostsikring av innvendig isolerte ringmurer ved fjellgrunn

Frostmengde (h°C)	Markisolasjon (mm)		Ringmursisolasjon (mm)
Inntil	Tykkelse	Bredde	Tykkelse
15000	50	300	110
20000	50	700	150
25000	60	1000	150

Utvendig isolert ringmur

Tabell 8.8

Nødvendig frostsikring av utvendig isolerte ringmurer ved fjellgrunn

Frostmengde (h°C)	Markisolasjon (mm)		Ringmursisolasjon (mm)
Inntil	Tykkelse	Bredde	Tykkelse
15000	50	500	50
20000	50	700	50
25000	50	1100	50
30000	50	1500	70
35000	50	2000	100

9 Gulvisolasjon og TEK til pbl – noen tanker

9.1 Gulv på grunnen uten gulvvarme

9.1.1 Småhus og mindre bygninger

I teknisk forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven (pbl) er det angitt krav til U-verdi for gulv på grunnen på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette under forutsetning av en innelufttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$. Dersom vi velger å se bort fra grunnens varmemotstand gir det en tykkelse på gulvisolasjonen på 240 mm med isolasjon klasse 36 eller tilsvarende 220 mm med klasse 33. Bruk av 15 mm parkett vil kunne redusere isolasjonstykkelsen med ca. 10 mm. Ved å se bort fra grunnens varmemotstand fås en enkel og entydig bestemmelse av gulvisolasjonens tykkelse. Etter NS-EN ISO 13370 vil tilsvarende årlig gjennomsnittlig U-verdi der en tar hensyn til grunnens varmemotstand gi en isolasjonstykkelse i størrelsesorden 180 - 200 mm, avhengig av grunnmaterialenes termiske egenskaper. Dette gjelder for gulvareal opp mot 100 m^2 . For større gulvflater vil isolasjonstykkelsen bli vesentlig mindre. Det er da sett bort fra at varme kan fjernes fra materialene under gulvisolasjonen på annen måte enn ved ren varmeledning. I begge tilfeller forutsettes det at stedets årsmiddeltemperatur er brukt som referansetemperatur ved gjennomsnittlige varmetapsberegninger. Under forutsetning av at varmeutvekslingen til grunnen bare foregår ved ren varmeledning vil en i dette tilfellet, ved å ta hensyn til grunnens varmemotstand, kunne redusere gjennomsnittlig tykkelse på gulvisolasjonen med 10 – 30%. Her vil imidlertid utførelsen av randsonen spille en vesentlig rolle. En uheldig utførelse av randsonen vil lokalt kunne føre til betydelige varmetap og uakseptable gulvtemperaturer uavhengig av varmemotstanden i grunnen og tykkelse på gulvisolasjonen. Da varmetapet fra en gulvflates randsoner tilnærmet er uavhengig av grunnflatens størrelse, bør kravet til isolasjonsutførelsen i randsonen være den samme for store og små bygninger.

Når en ser bort fra grunnens varmemotstand vil det være temperaturforholdene umiddelbart under gulvisolasjonen (pukklaget) som brukes som referanse og danner grunnlaget for varmetapsberegninger. Varmetapet fra gulv på grunnen vil være sammensatt av varmetap gjennom gulvisolasjonen til grunnen og varmetapet via ringmuren til uteluften og øvre jordlag. Varmetapet til grunnen kan deles opp i en ytre randsoner der en har svingninger i varmetapet over året med en faseforskyvning som tiltar med avstanden fra ringmuren og en indre sone der temperaturforholdene er nær stasjonære. Når det gjelder varmetapet via ringmuren, og da særlig varmetapet til uteluften, vil dette kunne ha et mer dynamisk forløp. Her vil tykkelsen på ringmursisolasjonen som igjen har sammenheng med tykkelsen på ytterveggene og utførelsen av overgangen vegg/ringmur/gulv spille en vesentlig rolle. Det er derfor viktig å unngå en hver form for kuldebro i ringmurtoppen. Dette omfatter også lufttetthet for å forhindre kaldtrekk i randsonen. Ringmursisolasjonen er viktig for å dempe temperatursvingningene i jordtemperaturene innenfor ringmuren, og dermed bidra til å begrense randsonens bredde. Her vil også ringmurens høyde og bruk av markisolasjon ha betydning.

En vil ofte ha store variasjoner når det gjelder byggegrunnens varme- og fukttekniske egenskaper, fra åpne sprengsteinsfyllinger til tett leire. En kan også ha lokale variasjoner i grunnforholdene innen en og samme byggegrube. En angivelse av grunnens termiske og fysiske egenskaper kan derfor være beheftet med stor usikkerhet. I tillegg til ren varmeledning kan det være andre faktorer, som intern konveksjon, endringer i grunnvannstand, vannførende lag, tilførsel av overvann i randsonen, etc. som også påvirker temperaturforholdene i grunnen og dermed gulvets varmetap. Med skjerpede krav til gulvkonstruksjonens varmetap (U-verdi) er det viktig at gulvutførelsen er slik at usikkerhet i grunnens termiske egenskaper ikke får vesentlig betydning for gulvets varmetap. Dette oppnås ved å stille krav til gulvkonstruksjonens varmemotstand på linje med den øvrige klimaskjermen. Variasjoner i grunnens fysiske og termiske egenskaper får dermed en mer

marginal betydning. Ved å stille krav til selve gulvkonstruksjonens oppbygging får en dermed en mer entydig bestemmelse av gulvisolasjonen uavhengig av grunnforholdene. Ved å bruke markisolasjon og øke tykkelsen på ringmursisolasjonen vil samtidig temperatursvingningene i grunnen under gulvisolasjonen dempes over året og jevne ut gulvets varmetap til grunnen over året.

Tykk gulvisolasjonen er viktig for å sikre et lavt varmetap og samtidig oppnå god komfort. Enhver økning av tykkelsen på gulvisolasjonen vil gi høyere temperatur på gulvoverflaten. Da en har direkte fysisk kontakt med gulvoverflaten, bør kravet til gulvets overflatetemperatur komfortmessig ha høy prioritet. Dette er særlig viktig i randsonen der varmetapet er størst og vil også ha betydning for valg av type gulvbelegg. Konsekvensene av en kuldebro i ringmurtoppen i form av økt varmetap og lave overflatetemperaturer vil kunne begrenses betydelig dersom materialene i gulvoverbygningen over gulvisolasjonen har lav varmeledningsevne. Da ringmuren gjerne har en minste høyde på 500 mm, vil det være enkelt å øke tykkelsen på gulvisolasjonen med relativt beskjedne tilleggskostnader. Alternativet er ofte å bruke et tykkere pukklag. Isolasjonslaget vil samtidig tjene som et kapillærbrytende lag og senke jordtemperaturene, og dermed sikre en gunstig fuktbalanse for gulvkonstruksjonen.

Et annet forhold som også har betydning for tykkelsen på gulvisolasjonen at det stadig er blitt mer vanlig å anlegge eller ettermontere gulvvarme. Skal en unngå å øke varmetapet til grunnen med bruk av gulvvarme, krever dette tykkere gulvisolasjonen. Det å øke isolasjonstykkelsen på et senere tidspunkt er ofte vanskelig på grunn av begrenset takhøyde og vil kreve betydelige bygningstekniske inngrep. Det er derfor en fordel at en allerede ved nybygging tar høyde for å ha en minste tykkelse på gulvisolasjonen som sikrer et lavt varmetap både med og uten gulvvarme.

Dersom varmeutvekslingen mellom gulvoverflaten og grunnen bare foregår ved varmeledning, vil grunnens store varmekapasitet føre til at temperaturforholdene under gulvisolasjonen noe inn fra ringmuren vil variere lite over året. Samtidig vil en ha en faseforskyvning når det gjelder temperaturendringer som i randsonen vil kunne ligge i størrelsesorden uker, mens faseforskyvningen lenger inn på gulvet vil ligge på opptil et halvt år. I sentrale deler av bygget vil en derfor kunne ha de laveste temperaturene i grunnen om sommeren og tilsvarende de høyeste temperaturene om vinteren.

Temperaturnivået i grunnen under bygningen vil være avhengig av en rekke forhold. Stedets årsmiddeltemperatur spiller en vesentlig rolle. Temperaturen vil også kunne variere fra år til år avhengig av nedbør- og fuktforhold. Også konveksjon i porøse steinfyllinger vil ha betydning for temperaturen i grunnen. Dersom varmeutvekslingen bare er avhengig av varmeledning, vil det over år kunne bygges opp et betydelig varmemagasin under sentrale deler av gulvet. Materialene i grunnen vil da inngå som en del av gulvisolasjonen regnet mot uteluften. I randsonen vil en normalt ha større variasjoner i fuktforhold som også vil påvirke temperaturene i grunnen. Temperatursvingningene i randsonen innenfor ringmuren som skyldes variasjoner i utelufttemperaturen kan dempes vesentlig ved bruk av markisolasjon og tykk ringmursisolasjon. Dette vil også kunne påvirke bredden på randsonen der en har svingninger i gulvtemperaturene.

Dersom en har en god ringmursisolasjon (min. 100 mm) og unngår kuldebro i den delen av gulvets overbygning som ligger over gulvisolasjonen, viser beregninger at en med god tilnærming kan bruke stedets årsmiddeltemperatur (for eksempel 6,0°C for Oslo) som referansetemperatur i grunnen under gulvisolasjonen for bestemmelse av midlere varmetap i randsonen. Randsonen kan i denne sammenhengen settes til ca. 5 m og innebefatter da generell småhusbebyggelse. På grunn av små variasjoner i varmetapet over fyringssesongen, kan denne temperaturreferansen med tilstrekkelig nøyaktighet brukes både til energi- og effektberegninger. Dersom det forutsettes en innelufttemperatur lik 20 °C, vil

gjennomsnittlig spesifikt varmetap med en U-verdi $0,15 \text{ W/mK}$ være $2,1 \text{ W/m}^2$ for Osloklimate. Dette varmetapet vil være relativt representativt for forholdene under fyringssesongen og være noe lavere under sommerforhold. En U-verdi på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ svarer til en tykkelse på gulvisolasjonen på ca. 240 mm. Dersom isolasjonstykkelsen reduseres til 200 mm eller gulvkonstruksjonens U-verdi til $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, vil tilsvarende varmetapet økes til $2,52 \text{ W/m}^2$. En økning på $0,42 \text{ W/m}^2$ eller 20%.

For å kunne vurdere størrelsen på gjennomsnittlig varmetap fra gulv på grunnen, kan dette sammenliknes med tilsvarende gjennomsnittlig varmetap fra en yttervegg som for et vanlig småhus vil ha ca. 50% større overflateareal enn gulvflaten mot grunnen. Kravet i teknisk forskrift til pbl til veggens U-verdi er $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med en utelufttemperatur lik årsmiddeltemperaturen på $6,0^\circ\text{C}$ vil gjennomsnittlig spesifikt varmetap for veggen være $3,08 \text{ W/m}^2$, altså ca. 50% høyere enn tilsvarende for gulvet. I motsetning til varmetapet for gulvet på grunnen som er tilnærmet konstant over fyringssesongen, vil varmetapet for veggen med en utelufttemperatur lik for eksempel -15°C øke til $7,7 \text{ W/m}^2$. En økning i spesifikt varmetap for veggen som er nær fire ganger høyere enn tilsvarende for gulv på grunnen, eller dersom en tar hensyn til absolutt varmetap vel syv ganger høyere.

Ovennevnte forhold viser at grunnens varmekapasitet og varmemotstand er viktig for å stabilisere og dempe temperatursvingningene i grunnen innenfor ringmuren. Derimot å regne grunnens varmemotstand inn som en del av gulvisolasjonen og referere varmetapet til utelufttemperaturen vil kunne gi alt for stor usikkerhet og bør unngås. Til dette er grunnens termiske og fysiske egenskaper for usikre.

Pukklaget som normalt brukes både under ringmursfundamentet og gulvisolasjonen har en porøsitet på ca. 40% og har som primær oppgave å tjene som et avrettings- og drencslag. I dag, med bruk av betydelig tykkelse på gulvisolasjonen, vil pukklagets kapillærbrytende funksjon være ivaretatt av gulvisolasjonen. Det betyr at pukklaget kan tildeles nye oppgaver. Figur 1 viser hvordan pukklaget under gulvet inngår som en integrert del områdets overvannshåndtering. Det er ikke uvanlig at hele eller deler av pukklaget under gulvet i perioder bevisst eller ubevisst benyttes som et fordrøyningsbasseng og vannvei for overvann. Dette er en ønsket utvikling for å utnytte alle tilgjengelige arealer til fordrøying av regnvannet og vil fullstendig endre grunnens termiske egenskaper. Urbaniseringen har ført til at tidligere infiltrasjons- og fordrøyningsarealer er blitt tette, med de følger at en lettere får oversvømmelser i lavereliggende områder. Pukklaget under gulvet vil derfor få økt betydning for lagring av overvann. En av fordelene med dette vannlageret er at det også er tilgjengelig under vinterforhold og i perioder med snøsmelting da det stadig er frost i grunnen.

9.1.2 Bygninger med større grunnflate

For bygninger med betydelig størrelse på grunnflaten vil det være større sannsynlighet for at varmeutvekslingen under sentrale deler av gulvet foregår med varmeledning. Grunnen inngår da som en del av gulvisolasjonen og fører til økte jordtemperaturer. Under disse betingelsene kan en i sentrale deler av større bygninger (ca. fem meter inn fra ringmuren), regne med høyere temperatur i grunnen umiddelbart under gulvisolasjonen. Dersom en bruker samme isolasjonstykkelse på minimum 200 mm under hele gulvflaten kan sentrale deler av gulvet regne med en temperatur umiddelbart under gulvisolasjonen, i størrelsesorden $12^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ avhengig av stedets årsmiddeltemperatur. Det er da forutsatt at en har tilnærmet endimensjonale temperaturforhold og at grunnens og gulvisolasjonens varmemotstand er tilnærmet like store. Med U-verdi $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil varmetapet for Osloklimate kunne reduseres fra $2,1 \text{ W/m}^2$ i randsonen til ca. $1,2 \text{ W/m}^2$. Dersom en ønsker å opprettholde samme varmetap som i randsonen, vil en tilsvarende kunne redusere isolasjonstykkelsen til ca. 150 mm. Temperaturen på pukkmassen under gulvisolasjonen vil da over tid kunne stige opp mot ca. 14°C . Grunnens varmemotstand vil dermed få større betydning når det gjelder å redusere gulvkonstruksjonens samlede varmetap. Deler av denne

overskuddsvarmen vil imidlertid kunne bli fjernet ved tilførsel av kaldt overflatevann. Også grunnvannsstrømmer vil kunne fjerne deler av dette varmelageret. Hvis temperaturnivået i grunnen under sentrale deler av bygningen senkes ned mot årsmiddeltemperaturen vil dette i det aktuelle tilfellet med 150 mm tykk isolasjon i en periode mer enn fordoble det lokale varmetapet. Med bruk av gulvvarme vil økningen kunne bli betydelig høyere. Det vil derfor alltid være et spørsmål om hensiktsmessigheten av å redusere tykkelsen på gulvisolasjonen i sentrale deler av større bygninger.

Med de skjerpede krav en i dag har til et lavt varmetap og godt inneklima vil det derfor bare være i spesielle tilfeller med meget store grunnflater og veldefinerte grunnforhold at grunnens varmemotstand bør vurderes å inngå som en del av gulvisolasjonen og dermed gi grunnlag for redusert isolasjonstykkelse. Tykkelsen på gulvisolasjonen i randsonen bør opprettholdes uavhengig av bygningens størrelse.

9.2 Gulv på grunnen med gulvvarme

Med bruk av gulvvarme vil temperaturforholdene på gulvflaten mot gulvisolasjonen endres vesentlig. Rommets varmebehov og gulvets oppbygging, og da særlig varmemotstanden for materiallaget over varmfordelingssjiktet, vil være avgjørende for temperaturnivået mot gulvisolasjonen. Denne temperaturen vil til en viss grad være utelufttemperatur kompensert. Det betyr at temperaturen øker når utelufttemperaturen faller og en krever større varmeavgivelse fra gulvvarmeanlegget for å dekke varmebehovet. Varmetapet vil derfor til en viss grad følge svingningene i utelufttemperaturen.

Dersom en antar at rommets gjennomsnittlige varmebehov ligger på 30 W/m^2 vil temperaturen på gulvoverflaten med en innelufttemperatur på 20°C ligge på ca. 23°C , eller en overtemperatur i forhold til innelufttemperaturen på ca. $3,0^\circ\text{C}$. Med 15 mm parkett over varmfordelingssjiktet vil gjennomsnittlig temperatur mot gulvisolasjonen ligge på ca. 28°C . Varmetapet mot grunnen med U-verdien $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (240 mm gulvisolasjon) vil da under stasjonære forhold være $3,3 \text{ W/m}^2$. Det er da igjen brukt årsmiddeltemperaturen $6,0^\circ\text{C}$ som referansetemperatur i grunnen. Dette er en økning i varmetapet på 57% i forhold til gulv uten gulvvarme. Under mer sentrale deler av et større bygg vil tilsvarende varmetapet kunne ligge på ca. $2,4 \text{ W/m}^2$, - et varmetap som er mer på linje med varmetapet i randsonen uten gulvvarme. Også varmetapene fra gulv på grunnen med gulvvarme ligger stadig lavt i forhold til veggens varmetap. Dersom økningen i varmetapet med bruk av gulvvarme i det aktuelle eksemplet skal kompenseres fullt ut vil det kreve en i isolasjonstykkelsen på hele 380 mm eller en økning på 140 mm eller ca. 60%. Som det fremgår av Figur 5.14, vil imidlertid effekten av ytterligere økning av tykkelsen på gulvisolasjonen reduseres vesentlig med økende isolasjonstykkelse. Det vil derfor være relativt kostbart og lite hensiktsmessig fullt ut å kompensere for et økt varmetap ved bruk av gulvvarme. Da varmetapet er direkte avhengig av overtemperaturer på varmfordelingssjiktet, er det viktig å bruke en utførelse av gulvvarmeanlegget som gir minst mulig temperaturtap fra varmfordelingssjiktet til gulvoverflaten. Samtidig er det generelt viktig med høy isolasjonsstandard for å holde varmebehovet lavt.

Dersom varmeutvekslingen bare foregår med varmeledning, vil et større varmetap over tid føre til økte temperaturer og større varmelagring i massen under gulvisolasjonen. Denne økningen i temperaturene i grunnen vil redusere varmetapet og dermed betydningen av gulvisolasjonen. Et annet forhold er at med bruk av gulvvarme vil komforten være ivaretatt. Det bør derfor være størrelsen på varmetapet, sett i relasjon til varmetapet fra de øvrige bygningskonstruksjonene, som bør bestemmer tykkelsen på gulvisolasjonen ved bruk av gulvvarme.

På grunn av lavt varmetap fra gulv på grunnen i forhold til andre bygningsdeler i klimaskjermen, vil det normalt ikke være hensiktsmessig fullt ut å kompensere for et økt

varmetap. Det er særlig i randsonen varmetapet er størst og også grunnen mest eksponert for fuktvariasjoner på grunn av nedbør. Med gulvvarme som eneste varmekilde vil en være særlig sårbar for økt varmetap i randsonen. Det er nettopp i dette området det er viktig med høyere temperaturer for å kompensere for kaldras fra vinduer eller strålingsasymmetri fra kald yttervegg. Enhver økning av gulvtemperaturen i denne sone er derfor gunstig og oppnås ved å øke isolasjonstykkelsen i randsonen. Igjen vil det være stedlig klima og gulvoppbyggingen og forholdene i grunnen som er avgjørende for hvor mye isolasjonstykkelsen eventuelt bør økes.

Ved å opprettholde et krav til U-verdi på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, eller 240 mm tykk gulvisolasjon for gulvkonstruksjonen uavhengig av grunnforholdene, vil en generelt være sikret et beskjedent varmetap med og uten gulvvarme og uavhengig av grunnens beskaffenhet. Igjen vil det være randsonen som har det største varmetapet. Ved å øke isolasjonstykkelsen i randsonen med ca. 25 – 30% som betyr en isolasjonstykkelse på ca. 300 mm, vil en delvis kunne kompensere for et økt varmetap i randsonen. Dette forutsetter igjen at en unngår kuldebro i randsonen ved å bruke en mark- og ringmursisolasjon som er i overensstemmelse med kravene til nødvendig frostsikring angitt i tabellene i kapittel 8.

10 Sluttkommentar

Fastsettelse av en gjennomsnittlig årlig U-verdi eller ”nominell U-verdi” etter beregningsstandarden NS-EN ISO 13370, der varmetapet fra gulv på grunnen under sommerforhold sidestilles med varmetapet i vinterhalvåret, vil med bakgrunn i skjerpede krav til lave U-verdier og varmetap, gi store isolasjonstykkelser. Tykkelsen på gulvisolasjonen for vanlige småhus har økt fra ca. 50 mm til 200 mm. Varmetapet fra et godt isolert gulv på grunnen i vinterhalvåret er derfor meget beskjedent og ligger i størrelsesorden 10 – 15 % av bygningens samlede transmisjonsvarmetap. En usikkerhet i bestemmelsen av varmetapet fra gulvet over fyringssesongen i størrelsesorden 10 – 20 % vil da utgjøre en samlet usikkerhet i bestemmelsen av transmisjonsvarmetapet på 1-2 %. Tar en samtidig hensyn til infiltrasjons- og ventilasjonstapet vil denne usikkerheten ligge i størrelsesorden *promille* av bygningens samlede varmetap i vinterhalvåret.

I dag finnes det fire relativt omfattende internasjonale beregningsstandarter som alle behandler varmetap fra gulv på grunnen. Standardene er delvis utviklet med bakgrunn i europeiske klimaforhold og isolasjonskrav og er derfor lite dekkende for norske forhold. Det tenkes da særlig på standarder som behandler dimensjonerende effektbehov og frostsikring. I tillegg til NS-EN 832 *Beregning av bygningers energibehov til oppvarming* vil følgende beregningsstandarter omfatte gulv på grunnen konstruksjoner:

- NS-EN ISO 13370 *Bygningers termiske egenskaper - Varmeoverføring via grunnen – Beregningsmetode* [6]
- NS-EN 12831 *Varmesystemer i bygninger - Metode for beregning av dimensjonerende effektbehov* [11]
- NS-EN ISO 13793 *Bygningers termiske egenskaper – Termisk dimensjonering av fundamenter for å unngå telehiv (ISO 13793:2001)* [12]
- NS-EN ISO 10211-1 *Kuldebroer i bygningskonstruksjoner – Varmestrømmer og overflatetemperaturer – Del 1: Generelle beregningsmetoder (ISO 10211-1:1995)* [22].

Nå vil det være direkte kobling mellom frostsikring og varmetap. Redusert varmetap ved forbedret randsoner isolering vil kreve mer aktive frostsikringstiltak. Tilsvarende vil bestemmelse av varmetap til grunnen og da spesielt i randsonen og kuldebroberegninger danne grunnlag for dimensjonerende effektbehov for rom mot yttervegger. En oppsplitting i en rekke beregningsstandarter som hver for seg behandler spesielle problemstillinger i tilknytning til gulv på grunnen konstruksjoner, er uheldig og gir et uoversiktlig beregningsgrunnlag. For å sikre at gulv på grunnen konstruksjoner skal tilfredsstillende alle nødvendige funksjonskrav er det behov for å samordne disse beregningsstandardene til ett generelt beregningsopplegg. Dette kan for eksempel løses ved å utvikle en forenklet beregningsmetode eventuelt i kombinasjon med preaksepterte løsningsdetaljer som samlet sikrer lavt varmetap og høye gulvtemperaturer, god frostsikkerhet og tilfredsstillende nøyaktighet i bestemmelsen av energi og effektbehov.

Konsekvensen av store varmetap fra gulv på grunnen med resulterende lave gulvtemperaturer er vesentlig et randsoneproblem uavhengig av bygningens størrelse. Det bør derfor vurderes om tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven bør endres slik at det også stilles krav til varmemotstanden (U-verdien) i randsonen (som i forskrift av 1987) uavhengig av bygningens størrelse. U-verdien eller varmemotstanden for gulv på grunnen bør generelt omfatte selve bygningskonstruksjonen uavhengig av materialene i grunnen. Kuldebroen i ringmurstoppene kan også begrenses ved å bruke en minste bredde på ytterveggen på 200 mm og bruke materialer i gulvets overbygning med lav varmeledningsevne. Generelt bør funksjonskravet til frostsikring også omfatte

gjennomfrysning av ringmuren. Dette vil kunne medføre økt ringmursisolasjon og generell bruk av markisolasjon. Markisolasjonen vil dempe temperatursvingene i grunnen og bidrar dermed positivt til å redusere varmetapet i randsonen. Frosttekniske forhold, uavhengig av grunnforholdene, vil derfor til en viss grad være bestemmende for tykkelsen på ringmursisolasjonen. Dermed oppnås en bedre klimatilpasning av gulvkonstruksjonen.

Da det er relativt enkelt og rimelig å øke tykkelsen på gulv- og ringmursisolasjonen, vil det kunne forsvares å bruke en isolasjonstykkelse som gir lavt varmetap sett i forhold til andre bygningselementer. Dette er spesielt viktig i randsonen, hvor kuldebro i overgangen ringmur/vegg/gulv må unngås. En økning av tykkelsen på gulvisolasjonen vil som en konsekvens redusere varmetapet, heve gulvtemperaturene og begrense bredden på randsonen med lave og varierende overflatetemperaturer. I tillegg til å sikre et godt innneklima unngås samtidig store tilleggsvarmetap ved bruk av gulvvarme. Det er ikke uvanlig at gulvvarme monteres i ettertid. En overdimensjonering av gulvisolasjonen med hensyn til varmetap vil jevne ut varmetapet fra gulvet over året og slå direkte ut i høyere gulvtemperaturer og dermed god komfort. I motsetning til andre deler av klimaskjermen har en direkte fysisk kontakt med gulvoverflaten. Det er derfor viktig å tilstrebe så høy overflatetemperatur på gulvet som mulig uten bruk av gulvvarme. Valg av gulvbelegg vil også kunne ha betydning i denne sammenhengen.

Det finnes også fukttekniske forhold som tilsier tykk gulvisolasjonen. Dette er særlig aktuelt for større bygninger og ved bruk av gulvvarme der det er viktig å unngå høye jordtemperaturer med avslått varmeanlegg. Gulv på grunnen konstruksjoner skal imidlertid som en generell regel sikres mot fuktproblemer ved å bruke plastfolie som dampsperre.

Som nevnt vil en vesentlig økning av gulv- og ringmursisolasjonen dempe og begrense utbredelsen og temperaturvariasjonene på gulvoverflaten som skyldes varmetap. Det betyr at hurtige svingninger i lufttemperaturen og stor usikkerhet i bestemmelsen av grunnens beskaffenhet og termiske egenskaper i tillegg til eventuelt snødekke, vegetasjon, hydrologiske forhold mv. får redusert betydning. For å få et mer entydig beregningsgrunnlag bør det derfor stilles krav til varmemotstanden for selve gulvkonstruksjonen uavhengig av grunnens varmemotstand. Denne varmemotstanden må da kobles mot en konstant eller varierende referansetemperatur i grunnen. Denne bestemmelsen av varmetapet bør med tilstrekkelig nøyaktighet kunne danne grunnlag både for energi- og effektberegninger ev. supplert med egne kuldebroberegninger i ringmurstoppene. Endringer over tid av klimatiske forhold som også berører grunnforholdene vil dermed få redusert betydning for byggets varmebalanse.

Rapporten belyser problemstillinger en vil møte ved utvikling av nye prefabrikkerte ringmursløsninger, og gir eksempel på en forenklet beregningsprosedyre for bestemmelse av varmetap for gulv på grunnen. Dette arbeidet må videreutvikles og også omfatte kjellerløsninger, som igjen må ses i sammenheng med overvannshåndtering og drenering.

Det er viktig å komme frem til enkle kostnadseffektive gulv på grunnen konstruksjoner der det stilles strenge funksjonskrav til selve bygningskonstruksjonen. Dette er nødvendig for å kunne motstå endringer i klima-, grunn- og bruksforhold og samtidig sikre gode løsninger i koblingen mellom ulike bygningsdeler. Et videre arbeid med å utvikle gode gulv på grunnen løsninger bør samordnes med de øvrige bygningskonstruksjonene, inkludert installasjoner. Her vil valg av type varmeanlegg og da spesielt bruk av lavtemperatur gulvvarme kunne spille en vesentlig rolle.

Referanser

- [1] Byggdetaljer 521.011
Valg av fundamentering og konstruksjoner mot grunnen. *Byggforskserien*, Byggdetaljer 521.011, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1991
- [2] *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk*, Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven av 14. juni 1985 nr. 77. Fastsett 22. januar 1997 av Kommunal- og arbeidsdepartementet og Miljøverndepartementet (kap II og III)
- [3] NS 3031
Varmeisolering - Beregning av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming og ventilasjon, Norges Standardiseringsforbund, Oslo 1987
- [4] Lisø, K. R., Kvande, T. *et al.* (2004)
Klima 2000 - Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner - Program 2000 - 2006, Programbeskrivelse, NBI-rapport O 10210-99, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [5] Gundersen, P. (2003)
New generation slab-on-grade foundations, 4th International Conference on Cold Climate – Heating, Ventilation and Air-Conditioning, Trondheim, Norway, June 15 – 18, 2003
- [6] NS-EN ISO 13370
Bygningers termiske egenskaper - Varmedoverføring via grunnen - Beregningsmetode (ISO 13370:1998), Norges Standardiseringsforbund, Oslo 1999
- [7] NS-EN ISO 6946
Bygningskomponenter og -elementer – Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient – Beregningsmetode (ISO 6946:1996), Norges Standardiseringsforbund, Oslo 1997
- [8] Byggdetaljer 521.111
Gulv på grunnen med ringmur. Oppvarmede bygninger. Utførelse. *Byggforskserien*, Byggdetaljer 521.111, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1998
- [9] Byggdetaljer 521.112
Gulv på grunnen med ringmur for oppvarmede bygninger. Varmeisolering og frostsikring. *Byggforskserien*, Byggdetaljer 521.112, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1998
- [10] Hagentoft, C. E. (1988)
Heat loss to the ground from a building: slab on the ground and cellar. Dr. avhandling, Department of Building Technology, Lund Institute of Technology
- [11] NS-EN 12831
Varmesystemer i bygninger - Metode for beregning av dimensjonerende effektbehov, Norges Standardiseringsforbund, Oslo 2003
- [12] NS-EN ISO 13793
Bygningers termiske egenskaper – Termisk dimensjonering av fundamenter for å unngå telehiv (ISO 13793:2001), Norges Standardiseringsforbund, Oslo 2001
- [13] Byggdetaljer 514.115
Lokal overvannshåndtering i boligområder. *Byggforskserien*, Byggdetaljer 514.115, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1989

- [14] Thue, J. V. (1971)
TODIM : Programsystem for beregning av todimensjonal, tidsavhengig temperaturfordeling i jord, Bilag 1 til Licentiatavhandling *Redusert fundamentdybde – termiske problemer*, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole
- [15] Gundersen, P. (2000)
Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg. NBI Prosjektrapport **317**, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [16] NBI Teknisk Godkjenning nr.2337 for *Isotherm Ringmurselement*, innehaver; Isolitt as
- [17] NBI Teknisk Godkjenning nr. 2144 for *Jackon Ringmurselement*, innehaver; Jackon AS
- [18] NBI Teknisk Godkjenning nr. 2286 for *Rockwool Ringmurselement*, innehaver; A/S Rockwool
- [19] NBI Teknisk Godkjenning nr. 2295 for *Sundolitt Ringmurselement*, innehaver; Brødr. Sunde as
- [20] Byggdetaljer 521.811
Telesikring av uoppvarmede bygninger og konstruksjoner. *Byggforskserien*, Byggdetaljer 521.811, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1987
- [21] NS-EN 832
Bygningers termiske egenskaper – Beregning av bygningers energibehov til oppvarming. Boliger, Norges Standardiseringsforbund, Oslo 1999
- [22] NS-EN ISO 10211-1
Kuldebroer I bygningskonstruksjoner – Varmestrømmer og overflatetemperaturer – Del 1: Generelle beregningsmetoder (ISO 10211-1:1995), Norges Standardiseringsforbund, Oslo 1996
- [23] Gundersen, P. (1991)
Varmetap fra gulv på grunnen med og uten gulvvarme, isolasjonsbehov. Intern arbeidsrapport E-6094 datert 03.06.91, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [24] Gundersen, P. (1994)
Rimelige lavenergiboliger. Konseptutvikling. NBI Prosjektrapport **150**, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo