

# Bygningsfysiske vurderinger knyttet til garasjekjellere i boligblokker

**Kristian Aleksander Bakkejord**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Mai 2012

Hovedveileder: Stig Geving, BAT

Medveileder: Ole Petter Haugen, SKANSKA Norge  
Ole Mangor-Jensen, SKANSKA Norge

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg, anlegg og transport





Oppgavens tittel: Bygningsfysiske vurderinger knyttet til garasjekjellere i boligblokker	Dato: 01.06.2012		
	Antall sider (inkl. bilag): 99		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Stud.techn. Kristian Aleksander Bakkejord			
Faglærer/veileder: Professor Stig Geving			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Ole Mangor-Jensen og Ole Petter Haugen, Skanska Norge			

<p><b>Ekstrakt:</b></p> <p>I denne masteroppgaven ønskes det å kartlegge bygningsfysiske problemstillinger knyttet til garasjeanlegg under boligblokker. Dette er gjort ved å foreta et litteraturstudium med fokus på anbefalinger og forskrifter. I tillegg er det kartlagt hvordan garasjeanlegg skal modelleres i energiberegninger etter NS3031, samt utfordringer knyttet til dette.</p> <p>Hovedfokuset ligger på delvis oppvarmede garasjekjellere med en settpunkttemperatur på 5°C. Det er gjennomført bygningsfysiske undersøkelser i form av varme- og fukttekniske simuleringer i WUFI 2D og THERM. Fukttekniske vurderinger har fokusert på å vurdere risiko for muggvekst på dekkekonstruksjon mellom garasje og oppvarmet sone med ulike plasseringer av isolasjon (i gulvet eller under betongdekket), og sees i sammenheng med anbefalinger fra Sintef Byggforsk. Varmetekniske undersøkelser er gjennomført for å vurdere hensiktsmessig isolasjonsplassering i forbindelse med kuldebroer og energieffektivitet. Det er også gjennomført varmetekniske analyser av en rekke alternative gulvkonstruksjoner over betongdekket.</p> <p>Energiberegninger er gjennomført for å vurdere nødvendig isolasjonsmengde i delvisoppvarmede garasjeanlegg under bakken. Dette vurderes opp mot forskriftskrav i TEK 10 og veiledning til TEK 10.</p> <p>Det er gjennomført case-studium av tre reelle prosjekter der Skanska har vært involvert. Fokuset ligger på garasjens geometri og isolering, dekkekonstruksjonens oppbygging, ventilering av garasjen og oppvarming. For å vurdere hvordan temperaturen i garasjen varierer med året er det plassert ut klima-loggere i de samme tre garasjeanleggene. Data fra disse er presentert og benyttet som vurderingsgrunnlag opp mot simulert temperaturforløp benyttet i fukttekniske simuleringer.</p> <p>Avslutningsvis er det presentert konklusjoner og oppsummering, samt forslag til videre arbeid med temaene presentert i rapporten.</p> <p>Oppgaven er skrevet i samarbeid med Skanska gjennom Skanska Produktdesign (bygningsteknikk og bygningsteknikk), underlagt Skanska Teknikk.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Stikkord:

1. Garasjeanlegg
2. Fukt simuleringer
3. Kuldebrosimuleringer
4. Energiberegninger

---

 Kristian Aleksander Bakkejord

## Forord

Denne rapporten er utarbeidet i forbindelse med min masteroppgave ved NTNU våren 2012. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Skanska Norge AS.

Samtaler om et samarbeid om masteroppgave og oppgavetema oppstod i forbindelse med samtaler om ansettelse i Skanska Produktdesign i januar 2012. Oppgaven ble utformet i samtaler mellom Ole Mangor-Jensen og Ole-Petter Haugen fra Skanska, Stig Geving ved NTNU og meg selv.

Oppgaven omhandler bygningsfysiske vurderinger av garasjekjellere i boligblokker, med fokus på varme- og fukttekniske vurderinger av dekkekonstruksjon mot garasjekjeller. Formålet med oppgaven er å undersøke bygningsfysiske problemstillinger knyttet til garasjekjellere med hensyn på oppbygging av dekkekonstruksjon mellom oppholdsrom og garasje, isolering og ventilasjon. Spesielt er fokuset rettet mot risiko for kondens og muggvekst i dekkekonstruksjonen og kuldebrovurderinger. Det er benyttet WUFI 2D og THERM for å foreta disse analysene.

Jeg vil takke veileder ved NTNU Stig Geving og Ole Mangor-Jensen i Skanska for veiledning, råd og generell hjelp med oppgaven. Jeg vil også takke Ole-Petter Haugen og Ulrike Bär i Skanska for tips og hjelp med case-studier, samt Arvid Dalehaug ved NTNU som har delt av sin erfaring.

---

Sted/dato

---

Kristian A. Bakkejord

## Sammendrag

I denne masteroppgaven er bygningsfysiske utfordringer knyttet til garasjekjellere i boligblokker undersøkt, med mål om å redegjøre for forskriftskrav og anbefalinger samt egen forskning.

Analysen av fukt- og varmetekniske problemstillinger er gjennomført ved å benytte henholdsvis WUFI 2D og THERM. Det er også gjennomført energiberegninger ved hjelp av Simien, samt økonomiske vurderinger knyttet til energimessige problemstillinger.

Gjennom analyser i WUFI er det vurdert hvor vidt en kan plassere isolasjon mellom tilfarere på et betongdekke mellom oppholdsrom og delvis oppvarmede garasjekjellere. Dette var ønsket av Skanskas tekniske underavdeling Skanska Produktdesign, og er til dels ikke anbefalt av Sintef Byggforsk. Dette ble gjennomført ved å benytte et temperaturforløp over året i garasjekjelleren med 10°C gjennomsnittstemperatur og minstemperatur på 5°C. Resultatene viser at dette ikke medfører fare for muggvekst eller kondens på dekkekonstruksjonen.

Varmetekniske analyser har til hensikt å analysere virkningen det har å endre plasseringen av isolasjonen fra under til over betongdekket med hensyn på kuldebroer i konstruksjonen. Resultatene viser at dette har en positiv effekt, da mindre varme ledes ut gjennom betongkonstruksjonene i dekket over kjelleren. Videre er det vurdert isolasjonsalternativer for å redusere U-verdi langs total ytre lengde av ytterkonstruksjonen vist i vedlegg 1. Simuleringene viser at det har liten hensikt å isolere sofadrageren i garasjen som holder dekket oppe på undersiden, men at det gir gode resultater å legge inn 50mm isolasjon som kuldebrobryter mellom sofadrager og hulldekkekonstruksjon.

Gjennom energiberegninger i Simien er primært vurdert om Skanskas strategi om å *isolere etter oppvarmingsgrad* er oppnådd. Varmetapet ved 50mm utvendig isolasjon på vegger og dekke mot terreng er beregnet til 257W/m<sup>2</sup>. Ved fullt isolert, 200mm utvendig isolasjon i vegg og 250mm i dekket, og fullt oppvarmet er varmetapet beregnet til 325W/m<sup>2</sup>. Varmetapet ligger lavere, og forutsetningene er oppnådd. Det er også vurdert hvor vidt det fra et privatøkonomisk ståsted er gunstig å øke isolasjonsmengden ytterligere i en delvis oppvarmet garasje. Beregninger gjennomført ved å kombinere Simien og kostnadsdata hentet fra Holte Anbud viser at dette er lite hensiktsmessig.

## Abstract

In this thesis building physical challenges associated with garage facilities in the basement of apartment buildings are examined, with the aim to clarify regulatory requirements and recommendations, and my own research.

Analyses of moisture and heat technical issues are conducted by using, respectively WUFI 2D and THERM. It is also carried out energy calculations using Simien and economic considerations related to energy issues.

Through analysis in WUFI it's considered whether one can put insulation between the floor joists on a concrete deck separating heated rooms and a partially heated garage basement. This was requested by Skanska, and is not recommended by SINTEF Building and Infrastructure. This was carried out using a temperature varying over the year in the garage basement simulated as a sine curve with average temperature of 10 ° C with an amplitude of 5 ° C. The results show that this does not involve the risk of mold growth or condensation on the concrete deck.

Thermal analysis aims to analyze the impact it has to change the location of the insulation from below to above the concrete deck on the thermal bridges in the construction. The results show that this has a positive effect, since less heat is led through the concrete structures over the basement. Furthermore, it is considered insulation options to reduce the U-value along the total external line of the construction. The simulations show that there is little point in isolating the sofa beam in the garage to covered it up on the bottom, but that it gives good results to add 50mm insulation between the sofa beam and the concrete deck.

The energy calculations in Simien are primarily focused on evaluating Skanska's strategy to insulate according to the degree of warming . Heat loss by 50mm external insulation on walls and ceilings against the ground is estimated to 257W/m<sup>2</sup>. The fully insulated, 200mm external insulation in walls and 250mm in the roof, and fully heated, the heat loss is estimated at 325W/m<sup>2</sup>. Heat loss is lower, and conditions are achieved. It is also considered whether from a private economic point of view it is beneficial to increase the amount of additional insulation in a partially heated garage. Calculations carried out by combining the Simien and cost data taken from Holte Anbud shows that this is has no economic benefits.

**Innhold**

<b>Forord</b> .....	<b>ii</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iv</b>
<b>1 Introduksjon</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Formål .....	3
1.3 Omfang og begrensninger .....	4
1.4 Oppgavens oppbygning.....	5
<b>2 Metode</b> .....	<b>6</b>
2.1 Litteratursøk.....	6
2.2 Beregninger .....	8
2.3 Case-studie .....	9
<b>3 Litteraturstudie</b> .....	<b>10</b>
3.1 Garasjeanlegg generelt.....	10
3.2 Dekkekonstruksjon .....	17
3.3 Energiberegninger etter NS3031 .....	21
<b>4 Kartlegging av reelle prosjekter</b> .....	<b>27</b>
4.1 Fornebu 8.5 (Piloten).....	27
4.2 Pilestredet Park.....	28
4.3 Frydenberg Park.....	29
4.4 Oppsummering .....	30
<b>5 Bygningsfysiske undersøkelser</b> .....	<b>31</b>
<b>5.1 Fukt-/kondensvurdering</b> .....	<b>31</b>
5.1.1 Forutsetninger .....	32
5.1.2 Resultater.....	37
<b>5.2 Kuldebrovurderinger</b> .....	<b>45</b>
5.2.1 Forutsetninger.....	45
5.2.2 Resultater.....	46
5.2.3 Videre undersøkelser.....	51
<b>6 Energiberegninger</b> .....	<b>54</b>
6.1 Forutsetninger .....	54
6.2 Resultater .....	56
6.3 Økonomiske vurderinger .....	61
<b>7 Måling av klima i garasjeanlegg</b> .....	<b>64</b>
7.1 Fornebu 8.5 (Piloten).....	65
7.2 Pilestredet Park.....	67
7.3 Frydenberg Park.....	69
<b>8 Konklusjon og oppsummering</b> .....	<b>71</b>
8.1 Litteraturstudie .....	71
8.2 Kartlegging av reelle prosjekter .....	72
8.3 Bygningsfysiske undersøkelser .....	73
8.4 Energiberegninger .....	74
8.5 Klimamålinger .....	74
8.6 Feilkilder.....	75
<b>9 Videre arbeid</b> .....	<b>77</b>
<b>Referanser</b> .....	<b>78</b>

<b>Vedlegg</b> .....	<b>81</b>
<b>Vedlegg 1 - Detalj overgang heller</b> .....	<b>82</b>
<b>Vedlegg 2 - Detalj overgang terrassedør</b> .....	<b>84</b>
<b>Vedlegg 3 - Feilmeldinger og materialvalg i simuleringer</b> .....	<b>85</b>
<b>Vedlegg 4 - Illustrasjoner, kuldebroer</b> .....	<b>86</b>



## 1 Introduksjon

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2012 ved institutt for Bygg, anlegg og transport ved NTNU. Masteroppgaven er utført i femte årskurs på studieprogrammet Bygg- og miljøteknikk under fagkoden *TBA4905 Bygnings- og materialteknikk*.

Oppgaven omhandler garasjekjellere i boligblokker, med fokus på dekkekonstruksjon mellom garasjekjeller og oppholdsrom. Gjennom bygningsfysiske analyser er det vurdert fuktproblematikk og varmetekniske problemstillinger knyttet til ulike løsninger av dekkekonstruksjoner. Målet med oppgaven har vært å presentere bygningsfysiske utfordringer knyttet til slike anlegg, samt dokumentere forskningsresultater, forskriftskrav og anbefalinger.

### 1.1 Bakgrunn

#### 1.1.1 Generelt

Under mange boligblokker blir det i dag bygd garasjekjellere, som i større eller mindre grad har et kontrollert klima. Det er knyttet mange bygningsfysiske utfordringer til slike garasjeanlegg. Det kan eksempelvis være relatert til hvordan garasjen best skal ventileres, hvordan garasjen og dekkekonstruksjonen mot boenhet best bør isoleres for å redusere varmetap og redusere risikoen for kondens på overflater og inne i konstruksjonene.

Fra Skanskas side har det mest interessante for oppgaven vært å kontrollere sine løsninger av dekkekonstruksjonen mot garasjekjellere med hensyn på kondens- og muggvekstrisiko, og dokumentere dette. Det var også et ønske å vurdere alternative løsninger med tanke på isolering, og hvordan dette ville kunne påvirke kondensfaren i konstruksjonen. Store deler av oppgaven er derfor bygget rundt denne problemstillingen.

Det foreligger lite forskning på slike konstruksjoner, og forskriftene inneholder enkelte mangler og uklarheter knyttet til disse. Dokumenterte, preaksepterte løsninger foreligger for enkelte detaljer. Noen av disse er derimot ikke optimale med tanke på økonomi i prosjektet. I løpet av oppgaven blir blant annet anbefalt isolasjons plassering etterprøvd.

### 1.1.2 Muggsopp og helseplager

Oppgaven fokuserer i stor grad på hvordan en unngår problemer med muggsopp. I en rapport omtaler Bakke (2000) hvilken effekt muggsopp har på mennesker, og forklarer dermed hvorfor det er viktig å unngå mugg. Rapporten omtaler også grundig andre konsekvenser av fuktskader, men i denne oppgaven ligger fokuset på muggsopp.

En kan spore fukt- og sopp problemer i bygninger så langt tilbake i tid som til tredje mosebok, som ble skrevet rundt 1405 f. Kr. (Slick u.d.). I bibelen, tredje mosebok kapittel 14 vers 35 til 48, oppgis dette som spedalskhet i huset. Problemet er altså ikke noe nytt. Rapporten omtaler følgende faktorer som forklaring på at vi fremdeles har dette problemet:

- Økonomi styrer at byggearbeidene skal gå fort
- Bruk av nye materialer gir utfordringer byggebransjen ikke er forberedt på
- Nye tekniske løsninger hvor tidligere erfaringer ikke er "bygget inn"
- Redusert faglig standard på byggearbeidene
- Manglende kvalitets sikring under bygging, drift og vedlikehold
- Redusert reell myndighetskontroll

Sammenhengen mellom fuktskader og helseproblemer er veldokumentert, men det er likevel uklart hva som er de spesifikke årsakene i et fuktig eller fuktskadet innemiljø som gir helseplager. Det er også usikkerhet knyttet til mekanismene for at et fuktig eller fuktskadet innemiljø skader helsen. Fukt kan føre til at en eksponeres for (Jan Bakke 2000) :

- Allergener: husstøvmidd, sporer fra mugg og bakterier, insektrester
- Irritanter/MVOC: irriterende og illeluktende damper og gasser produsert av mikrobiologisk aktivitet
- Mykotoksiner: giftstoffer produsert av sopp, vanligvis mugg, av visse arter og under visse forhold
- Endotoksiner, glukaner og andre skadelige stoffer fra bakterier og sopp
- Avgassing: økt kjemisk avspalting fra ulike byggematerialer

Av disse er det uklart hvilken betydning de har, samt at andre ukjente virkningsmekanismer kan foreligge. Det er også mangler i kunnskapen ulike mikrobiologiske agens relative betydning og farlighetsgrad. Likevel foreligger det bred faglig konsensus om at det er en klar sammenheng mellom fuktskader og helseproblemer, at muggsopp har stor betydning og ikke minst: fuktskader og alle dens konsekvenser må unngås.

## **1.2 Formål**

Oppgavens overordnede formål er å studere ulike bygningsfysiske aspekt knyttet til delvis oppvarmede garasjekjellere. Besvarelsen tar utgangspunkt i litteraturstudier og egne undersøkelser. Oppgavens opprinnelige idé bygger på Skanskas ønske om å undersøke sine løsninger for dekkekonstruksjon, og oppgaven har derfor stort fokus på egne bygningsfysiske undersøkelser av problemstillinger knyttet til denne konstruksjonen.

Disse omfatter risiko for muggvekst på dekkekonstruksjon i betong over delvis oppvarmet garasje, kuldebroundersøkelser samt undersøkelser av om varmetapet i kjelleren er innenfor kravet i teknisk forskrift.

Et annet veldig viktig mål med oppgaven er teoretiske og praktiske kunnskaper som bidrar til læring på et personlig nivå, noe jeg ønsker å videreutvikle også etter studiene er over.

### 1.3 Omfang og begrensninger

Denne rapporten er resultatet av en masteroppgave tilsvarende 30 studiepoeng over ett semester. Oppgaven søker å avdekke ulike bygningsfysiske problemstillinger knyttet til garasjeanlegg. Grundig forskning er tidkrevende, både på grunn av innsamling av data og simuleringer med dataprogrammer. Tidsrammen legger en egen begrensning på oppgaven, og styrer i stor grad omfanget særlig for de forsøk og undersøkelser som er foretatt.

Teoretisk del (kapittel 3) har som hensikt å kartlegge generelle anbefalinger og forskriftskrav knyttet til garasjeanlegg, fra et bygningsfysisk synspunkt. Til dette er det benyttet veiledning til TEK 10, anbefalinger fra Sintef Byggforsk og nasjonale standarder. Å dekke enhver problemstilling en kan komme til å møte på i fremtiden er umulig, og kapitlet begrenser seg derfor i all hovedsak til garasjeanleggets vegger og dekkekonstruksjon mot oppholdsrom. Det er lagt liten vekt på oppbygging av gulvkonstruksjon mot grunn eller ytterligere etasjer under.

Case-studiene i kapittel 4 og 7 har hatt sine naturlige begrensninger, og har i stor grad vært avhengig av måleresultater og materialet Skanska har supplert meg med.

Klimamålingene presentert i kapittel 7 har blitt benyttet for å vurdere troverdigheten til simuleringer foretatt, og foreligger som dokumentasjon for videre forskning.

Oppgavens praktiske del (kapittel 5) er todelt. Første del, kapittel 5.1, tar for seg fuktsimuleringer av dekkekonstruksjon mot oppholdsrom. Her det valgt å begrense undersøkelsene til det mest kritiske punktet, se vedlegg 1, for å undersøke faren for muggvekst og kondens. Programvaren brukt har også sine naturlige begrensninger, beskrevet mer omfattende i kapitlet. Av tidsmessige årsaker har jeg måttet benyttet antatte klimainnstillinger, vurdert i samråd med Skanska og veileder ved NTNU. Muggvekstmodellen er begrenset til en muggvekstmodell.

Kapittel 5.2 omfatter varmetekniske vurderinger av dekkekonstruksjonen. Det legges spesielt fokus på de to alternative isolasjonsplasseringene Skanska ønsket undersøkt. Disse resultatene brukes også for å etterprøve temperaturforløpet i simuleringene presentert i kapittel 5.1. Videre er det vurdert ulike utforminger av dekkekonstruksjonen. Undersøkelsene er begrenset til å vurdere total U-verdi for hele konstruksjonen. Det er ikke foretatt ytterligere fuktmessige vurderinger av disse løsningene.

Kapittel 6 omfatter energiberegninger gjennomført med Simien, samt økonomiske vurderinger i kombinasjon med HolteProsjekt Anbud. Energiberegninger er begrenset til enkle geometrier for generelt vurderingsgrunnlag. Økonomiske nøkkeltall og selvkost for ytterligere isolasjon begrenses til informasjon tilgjengelig i HolteProsjekt Anbud.

## **1.4 Oppgavens oppbygning**

Oppgaven er bygget opp på følgende måte, med en kort omtale av kapittelets innhold.

### **Kapittel 1: Introduksjon**

En kort introduksjon til oppgaven og dens tema, samt bakgrunnen for oppgaven, formål, omfang og begrensninger og til slutt oppgavens oppbygning.

### **Kapittel 2: Metode**

Kapittelet omfatter en beskrivelse av metoder for forskning, litteratur- og case-studier benyttet i utformingen av masteroppgaven.

### **Kapittel 3: Litteraturstudie**

Kapittelet omhandler generelle anbefalinger, vanlige skader og tiltak for garasjeanlegg. Dernest presenteres anbefalinger for oppbygging av dekkekonstruksjon over garasjer og forskriftskrav og energiberegninger etter NS3031.

### **Kapittel 4: Kartlegging av reelle prosjekter**

Kapittelet er en presentasjon av ferdigstilte prosjekter Skanska har vært involvert i, med hensyn på garasjeanlegg.

### **Kapittel 5: Bygningsfysiske undersøkelser**

Kapittelet inneholder de bygningsfysiske undersøkelser foretatt i forbindelse med oppgaven. Disse omfatter kondens-/muggvekstrisiko og kuldebroundersøkelser knyttet til dekkekonstruksjon mellom oppholdsrom og garasje i boligblokker basert på Skanskas detaljer.

### **Kapittel 6: Energiberegninger**

Kapittelet inneholder energiberegninger med fokus på å vurdere nødvendig isolasjonsmengde i delvis oppvarmede garasjekjellere.

### **Kapittel 7: Måling av klima i garasjeanlegg**

Kapittelet omfatter en presentasjon av klimamålinger gjennomført i samarbeid med Skanska, samt en sammenligning med det simulerte klimaet brukt i fuktsimuleringer.

### **Kapittel 8: Konklusjon og oppsummering**

Kapittelet inneholder de funn og resultater som er presentert i oppgaven, samt en vurdering av feilkilder.

### **Kapittel 9: Videre arbeid**

Kapittelet inneholder forslag til videre arbeid; uløste spørsmål, forbedringspotensial med mer .

### **Vedlegg:**

Detaljtegninger, feilmeldinger fra simuleringer, materialdata og simuleringresultater utelatt fra fritekst.

## 2 Metode

Kapittelet er en kortfattet gjennomgang av metodene og fremgangsmåten brukt i oppgaven. Dette er presentert for at leseren kan vurdere troverdigheten av oppgaven, vurdere resultatets grunnlag samt benyttes ved eventuelle videre arbeid med temaet.

### 2.1 Litteratursøk

Litteraturstudiet er presentert i kapittel 3. Følgende er en presentasjon av valgte søkemotorer og strategier for innhenting av kunnskap og materiale.

Av søkeord benyttet har disse vært for omfattende til å ramse opp her. Det har vært et mangfold av synonymer for garasje/garasjeanlegg/parkeringsanlegg på både norsk og engelsk. Det viste seg at det foreligger lite litteratur om bygningsfysiske studier av garasjeanlegg generelt, og av det lille som foreligger går en del utenfor oppgavens begrensninger.

### Forkunnskap

Gjennom studier ved NTNU har jeg tilegnet meg kunnskap om bygningsfysikk og bygningsteknikk, noe som legger et godt grunnlag for denne oppgaven. Jeg utarbeidet også prosjektoppgave om temaet, som ga ytterligere kunnskaper om fagfeltet.

Gjennom samtaler med Skanskas representanter og veileder ved NTNU fikk jeg satt meg inn i aktuelle problemstillinger knyttet til garasjeanlegg av denne typen.

### BIBSYS

BIBSYS er et statelig forvaltningssystem underlagt Kunnskapsdepartementet (BIBSYS u.d.). BIBSYS tilbyr tilgang til bibliotekenes ressurser gjennom ulike søkemuligheter. BIBSYS er først og fremst en leverandør av informasjons- og bibliotekstjenester i universitets- og høyskolesektoren, og samarbeider med Nasjonalbiblioteket, NTNU og andre institusjoner.

Som student ved NTNU har en tilgang på Universitetsbiblioteket i Trondheim og tilkoblede biblioteks inventar. Jeg har også brukt søkemotoren til NTNU Universitetsbiblioteket, der en i tillegg til BIBSYS kan søke spesifikt i databaser og e-tidsskrifter med mer.

### Google Scholar

Google Scholar er søkemotoren Googles egen motor for akademisk litteratur (Google 2011). Motoren gjør det mulig å søke i ulike typer akademisk litteratur, som bøker, sammendrag, avhandlinger, artikler, utdrag etc. Søkene rangeres etter relevans, og en kan selv velge om en ønsker å søke på forfatter, årstallintervall og forlag.

En kan ikke begrense typen treff, om en utelukkende er ute etter bøker må en for eksempel søke på forlag. Googles gode rangeringssystem gjør likevel at søkemotoren fungerer meget bra.

### **Google Søk**

Google søk er Googles ordinære søkemotor. Motoren rangerer, som Scholar-utgaven, søket etter relevans. Motoren søker på nettet som helhet, og inkluderer derfor større mengder data, på godt og vondt.

Å kombinere nettsøk og Scholar gjør at en kan dekke store deler av aktuelle publikasjoner. Disse to motorene er brukt i kombinasjon med BIBSYS, da en kan søke opp publikasjonene en finner på nettsøk og Scholar og se om de er tilgjengelige gjennom BIBSYS.

### **Sintef Byggforsk kunnskapssystem**

Sintef Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt (Sintef Byggforsk u.d.). Sintef Byggforsk dekker utfordringer knyttet til hele byggeprosessen. Publikasjonene dekker fagområder som arkitektur, bygningsfysikk, forvaltning, drift og vedlikehold, vannforsyning og annen infrastruktur.

Sintef Byggforsk driver forskning, rådgivning, produktdokumentasjon og kunnskapsformidling (Sintef 2012). Sintef samarbeider med NTNU, ledende bedrifter og andre forskningspartnere nasjonalt og internasjonalt.

Kunnskapssystemet på nett benyttet jeg i stor grad for å finne norske anbefalinger. Byggforsks anbefalinger er solide, preaksepterte løsninger en ikke trenger ytterligere dokumentasjon for å benytte. Dette er en abonnementstjeneste som er tilgjengelig for studenter gjennom UBiT. Søkemotoren lar deg søke gjennom databladene, som inneholder byggdetaljer og beskrivelser.

### **Lovdata.no**

Lovdata er en privat stiftelse opprettet av Justisdepartementet og Det juridiske fakultet ved Universitetet i Oslo, og har som formål å drive systemer for rettslig informasjon (Lovdata u.d.).

Lovdata inneholder et stort spekter lover, blant annet Norges Lover, forskrifter, vedtak, rettsavgjørelser etc. Lovdata online har blitt benyttet for å studere Teknisk forskrift og Plan- og bygningsloven. For å finne veiledning til TEK10, benyttet jeg (Direktoratet for Byggkvalitet 2011).

### **Veiledere**

I tillegg til veileder Professor Stig Geving ved NTNU, Institutt for bygg anlegg og transport, har jeg hatt veiledere i Skanska. Primært har Ole Mangor-Jensen vært veileder i Skanska, men også Ole-Petter Haugen og Ulrike Bär, alle fra Skanska Produktdesign, har vært hjelpsomme og delt av sin kunnskap og sine erfaringer.

Alle har bidratt med hjelp underveis. Dette være seg i form av generelle opplysninger, hjelp til innsamling av måleresultater, prosjektinformasjon og hjelp til å finne relevant vinkling på oppgaven.

## 2.2 Beregninger

Bygningsfysiske analyser har blitt gjort ved bruk av simuleringverktøy, der det etter beste evne har vært fokus på å benytte et mest mulig realistisk scenario. Enkelte utfordringer med fuktteknisk verktøy førte til mye arbeid med programmet og uforutsette forsinkelser. Resultatet ble en noe forenklet modell, men en rekke tiltak ble iverksatt for likevel å gjøre simuleringene realistiske.

For å gjennomføre fukttekniske simuleringer er programmet WUFI 2D versjon 3.3 benyttet. WUFI er utviklet av Franhofer Institut für Bauphysik. Programmet implementerer koblet varme- og fukttransport, og egner seg blant annet til å vurdere fuktsikkerheten til overgangsdetaljer.

Varmetekniske simuleringer med hensyn på kuldebrovirkninger og undersøkelser er gjort ved å benytte THERM versjon 6.3. Programmet er gratis, og utviklet ved Lawrence Berkeley National Laboratory. THERM er et todimensjonalt varmeoverføringsprogram basert på den endelige elementmetode.

Energiberegninger er gjort med programmet Simien versjon 5.003. Programmet er utviklet av Programbyggerne i Norge, og bygger på dynamisk beregningsmetode i NS3031. Programmet kan foreta en rekke ulike simuleringer, blant annet årssimuleringer, vintersimuleringer og simulering mot teknisk forskrift. Programmet er benyttet til å vurdere varmetap i garasjekjeller, samt behovet for oppvarmingseffekt i kjelleren. Videre er det gjennomført økonomiske vurderinger ved å kombinere resultater fra Simien med kostnader hentet fra HolteProsjekt Anbud og strømpriser fra Statistisk sentralbyrå. HolteProsjekt Anbud bygger på NS3420 *Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner*.

Enkelte forenklinger var nødvendige for å gjennomføre simuleringene, da det oppstod enkelte problemer med WUFI. Arbeidet med WUFI 2D var mitt første møte med programmet, og all kjennskap med programmet ble gjort gjennom arbeidet med oppgaven. Forenklinger og forutsetninger gjort i arbeid med de to programmene er presentert i kapittel 5, sammen med resultater og vurderinger.



### **2.3 Case-studie**

Case-studiene er en todelt oppgave. Den første delen er å samle informasjon om reelle prosjekter, den andre å plassere loggere ved et antall garasjeanlegg for å måle relativ luftfuktighet og temperatur. I begge tilfeller fikk jeg hjelp av mine kontaktpersoner i Skanska Produktdesign, i hovedsak gjennom Ulrike Bär.

Informasjonen om reelle prosjekter er samlet og presentert i kapittel 4. Dette er satt opp som en systematisk presentasjon av utforming av dekkekonstruksjon, isolasjonsplassering, ventilasjon, oppvarming med mer.

Klimamålingene er presentert grafisk og sammenlignet med klimaet benyttet i simuleringene. Det er vurdert hvordan dette kan påvirke resultatene. Loggerne ble plassert ut for sent til å dekke vinterklimaet, men kan likevel gi en viss indikasjon på denne problemstillingen. Dataene ble ikke benyttet i simuleringene av samme grunn, samt at det var viktig å komme i gang med simuleringene tidlig da disse tar svært mye tid.

### 3 Litteraturstudie

Følgende kapittel er en presentasjon av litteraturstudiet foretatt i forbindelse med masteroppgaven. Kapittelet inneholder generelle anbefalinger for garasjeanlegg, forskriftskrav og aktuelle problemstillinger forbundet med energiberegninger etter NS3031.

#### 3.1 Garasjeanlegg generelt

Dette kapittel er presentasjon av et litteraturstudie gjennomført i forbindelse med oppgaven, med fokus på forskriftskrav, anbefalinger og forskningsresultater i forbindelse med garasjeanlegg.

##### 3.1.1 Vanlige skader

Byggforskblad 722.403 (Byggforsk 1997) presenterer vanlige skader på betong i garasjeanlegg. Disse deles inn i tre kategorier: konstruktive svakheter, slitasje, frysing og tining og armeringskorrosjon.

De konstruktive svakhetene omfatter sluk og avrenning og svinnarmering og feildimensjonering. Biler bringer med seg snø inn i garasjeanlegget, det er derfor nødvendig med avrenning for å unngå vannansamling. Slike vannansamlinger skyldes vanligvis at det er for langt mellom slukene, at det ikke fins sluk i det hele tatt eller at slukene er plassert ved søyler eller andre høye topper i dekket. Det kan også skyldes at det ikke er tilstrekkelig fall mot slukene.

Sprekker i garasjens dekker kan skyldes utilstrekkelig svinnarmering, eller at dekkene er utført med for store lengder uten avbrudd av fuger. Sprekker kan også skyldes nedbøyning. Dette skyldes gjerne feildimensjonering eller feil plassert armering. Overbelastning kan også være en årsak til nedbøyning. Dette gjelder i hovedsak garasjer over flere plan, og er i så måte en mindre aktuell problemstilling for garasjeanlegg under boligblokker.

Sprekkdannelse kan også ha en betongteknologisk årsak, nærmere bestemt sprekker forårsaket av plastisk svinn i nystøpt betong. Denne typen sprekker kjennetegnes ved at de ligger langs med og rett over dekkets overkantarmering.

Slitasje, frysing/tining omfatter slitasje fra piggdekk og påfølgende nedbrytning fra fryse/tine-sykluser. Piggdekk bryter først ned overflatebelegget i garasjen, og deretter betongen. Denne nedbrytningen forsterkes av vann, som følger med bilene inn i form av snø eller regn, trenger inn i betongen og gjentatte ganger fryser og tiner.

Armeringskorrosjon forsterkes av og henger nøye sammen med punktene nevnt over, og Sintef Byggforsk har valgt å la dette punktet omfatte klorider og karbonatisering av betong. Klorider kommer inn i garasjeanlegget på to primære måter. Den første er tilstedeværelse av klorider i den ferske betongen. Disse kloridene har til hensikt å akselerere herdingen og unngå at betongen fryser før den herder. I dette tilfellet vil kloridene være jevnt fordelt i betongen.

Den andre årsaken er at bilene drar med seg veisalt inn i garasjen, en ikke uaktuell situasjon i store deler av Norge der veisalt brukes i stor grad. I dette tilfellet vil kloridinnholdet være størst ved inngangen til garasjen, eller på parkeringsplassene der snøen smelter av bilene. I nyere garasjeanlegg uten vanntett belegg vil konsentrasjonen av klorider være størst i øvre sjikt av betongen.

Når kloridene trekker inn i betongen i tilstrekkelige konsentrasjoner, brytes det passive sjiktet rundt armeringen ned. Dette fører til at armeringen kan korrodere, selv om den ligger i ukarbonatisert betong. Dersom det er klorider til stede kan armering korrodere ved RF 50%, samt at korrosjonshastigheten blir høyere.

Karbonatisering av betong fører til at pH i porevannet synker til om lag 8-9. Armeringen mister da sin korrosjonsbeskyttelse, og ved RF på 70-95% får en begynnende korrosjon på armeringen. Etter hvert som armeringen korroderer vil det oppstå sprekker i betongen.

I tillegg til disse, er det verdt å nevne kondens på overflater ved væromslag, omtalt i Byggforskblad 525.002 (Byggforsk 2007). Betongen i garasjen vil ha en viss treghet i forbindelse med temperatur. Ved omslag til høy temperatur i uteluften, vil denne skape kondens på de kalde betongoverflatene (Sintef Byggforsk, SOS u.d.). Denne kan føre til misfarging, samt skade på bilers lakk da vannet vil ha et høyt alkalieinnhold.

Vedlegg 2 viser detalj fra samme detaljsett som vedlegg 1, og kan sammenlignes med en terrasse over delvis oppvarmet rom. Byggforskblad 725.121 (Byggforsk 2011) presenterer årsaker og utbedringstiltak for skader på terrasser over oppvarmede rom, og en kan trekke paralleller til disse. Generelt presenteres svakheter med tanke på drenering. Benytter en utvendig nedløp er det fare for at smeltevannet fryser til is. Isen demmer opp for vannet og kan sprengne rørene. Svakheter knyttet til innvendige nedløp er i hovedsak tetting av koblinger og tetting dersom røret går igjennom membran. I praksis viser det seg at dette ofte ikke er gjennomført korrekt.

Typiske skader for betongdekker med overliggende isolasjon er som følger (Byggforsk 2011):

- For liten høydeforskjell mellom terrassoverflate og toppen av membranoppbrett ved dørterskel, kombinert med dårlig fall, som gir risiko for lekkasjer.
- Utvendig renne og nedløp, som kan gi isdannelser og oppdemming for ytterligere smeltevann eller nedbør.
- Manglende dampsperre rundt dekkeforkant, som gir risiko for luftlekkasjer innenfra og ut via utett overgang mellom yttervegg og himling, spesielt via elementskjøt mellom hulldekkeelementer.
- Unøyaktig montert isolasjon i dekkeforkant, som gir kuldebro, med fare for kondensering.
- Manglende glidesjikt mellom påstøp og membran, som gir risiko for skader på membranen.
- Begrensning i byggehøyde og krav om terskelfri adkomst til terrassen, som kan gi for liten isolasjonstykkelse. (ikke nødvendigvis aktuelt for garasjeanlegg)

Betongdekker med underliggende isolasjon er typisk utsatt for følgende skader (Byggforsk 2011):

- Membran brettet opp utenpå veggens vindsperre løsner, slik at vann renner bak veggkledningen og inn på vindsperra kan trenge ned under membranen.
- Membran uten ekstra beskyttelsessjikt kan være sårbar for skader, selv om den ligger på fast underlag
- Utvendig drenering gir fare for isdannelser og oppdemming av smeltevann.
- Innfesting av rekkverk med bolter gjennom membranen gir lett lekkasjer. (ikke nødvendigvis aktuelt for garasjeanlegg)
- Mangelfull kuldebryter gir fare for kondens eller støvkondens i himlingen.
- Innebygd fukt eller lekkasjevann ned i nedfôret isolert himling gir fare for mugg- og soppskader.
- Mangelfull dampsperre i himling gir fare for kondensering under betongdekket og fuktskader i himlingen.

### 3.1.2 Forebyggende tiltak

Fjerning av fukt i garasjer foregår på tre primære måter. Byggforskblad 722.403 (Byggforsk 1997) foreslår to metoder. Den første er å ha tilstrekkelig fall mot sluk på dekket. Å fjerne vannet fra dekket forebygger armeringskorrosjon ved å fjerne klorider fra betongen, samt i kalde garasjer frostsprengning. Et annet poeng er å fjerne vannet fra dekket i kalde garasjer for å unngå is og dermed glatt underlag.

Sintef Byggforsks andre tiltak er å fjerne fuktighet ved hjelp av ventilasjon. Det vil vanligvis være tilstrekkelig med luftskiftning på 3-6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> og time. Det er ikke vanlig å dimensjonere ventilasjonsanlegget for å takle dannelse av dammer etter perioder med stor fuktpåkjenning (som store mengder snø). Det er også verdt å merke seg at preakseptert ytelse i veiledning til TEK 10 for minimumsventilasjon av garasjer er 3m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> bruttoareal for langtidsparkering og 6m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> bruttoareal for korttidsparkering (Direktoratet for Byggkvalitet 2011). Dersom en benytter ventilasjonssystemer for å fjerne fukt med minimum 3,6m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup>, kan en også bruke udokumenterte materialer eller høyemitterende produkter med tanke på irritasjonseffekter fra stoffer som avgis fra materialene.

For å forbedre utvendige nedløp anbefaler Byggforsk å benytte varmekabler. Nedløpet må da dimensjoneres for varmekabler, minst Ø75, og varmekablene må monteres slik at det ikke oppstår fare for tilstopping. Nedløpet bør føres ned til frostfri dybde. Når det gjelder innvendige nedløp med lekkasje problemer må disse lokaliseres ved å sette nedløpet under vanntrykk og lokalisere lekkasjen. Det anbefales også å felle sluk og renner ned i isolasjonslaget. Dette gir et større varmetap og sikrer avsmelting for å unngå tilstopping av is. Det er også kommet en noe kontroversiell løsning, vist i Byggforskblad 525.304 (Byggforsk 2007). Denne omfatter fall mot terrassedøren der en legger en renne. Dette kan sees i sammenheng med Skanskas detalj i vedlegg 1 og vedlegg 2. Om en ønsker å benytte innvendig nedløp i utvendig hjørnet mellom hulldekkeelement og sofadrager, kan en ha fall mot en renne her som leder til et innvendig nedløp. Vedlegg 2 viser at det er ønskelig med en slik renne.

Utbedring av betongdekker med overliggende isolasjon er presentert i Byggforskblad 725.121 (Byggforsk 2011). Utbedringene er presentert kort under:

- *Manglende membran høyde.* Nedsenket renne langs veggen med terrassedøren.
- *Utvendig renne og nedløp.* Varmekabler i renne dersom det ikke er mulig å benytte innvendig nedløp.
- *Manglende dampsperre.* Luftlekkasjer kan til nøds tettes fra innsiden med en tett dampsperreavslutning i overgang vegg/himling. Byggfukt i betongdekke med påfølgende fuktdiffusjon i kanalene i hulldekkeelementer kan blåses ut med tørr luft om dette er et problem.
- *Mangelfull isolasjonstykkelse.* Dersom det ikke stilles krav til tilgjengelighet kan terrassedør heves for å øke isolasjonsmengden. Tillater innvendig takøyde det, kan opptil en fjerdedel av total isolasjonsmengde legges på undersiden av betongdekket.
- *Manglende glidesjikt.* Mangler dette kan en måtte åpne gulvet og utbedre.

Byggforskbladet foreslår også råd for utbedring av betongdekker med underliggende isolasjon. Disse er oppsummert under (Byggforsk 2011):

- *Membran.* Må avsluttes inn bak veggens vindsperresjikt.
- *Utvendig renne og nedløp.* Varmekabler i renne dersom det ikke er mulig å benytte innvendig nedløp.
- *Lekkasjer gjennom festepunkter.* Festepunkter i dekket bør elimineres. Rekkverk bør festes i dekkeforkant.
- *Mangelfull kuldebrobryter.* Kondensproblemer som følge av dette kan løses ved å føre isolert himling lenger inn i rommet. En bør unngå direkte kontakt mellom trevirke og betong. Alternativt kan en benytte slissede tynnplateprofiler i stål. For å unngå kuldebrovirkning via stålprofilet kan en montere nedføring av trevirke og isolasjon under dampsperrsjiktet før en monterer himlingen.
- *Isolering.* Den fuktteknisk og energimessig beste løsningen er å isolere hele betongdekket på oversiden. Dette gir et høyere gulvnivå og endring av løsning ved dekkekanten. Underkanten på tilstøtende veggkledning og terrassedøren må heves. For utbedring i eksisterende bygg kan dette være vanskelig å gjennomføre.

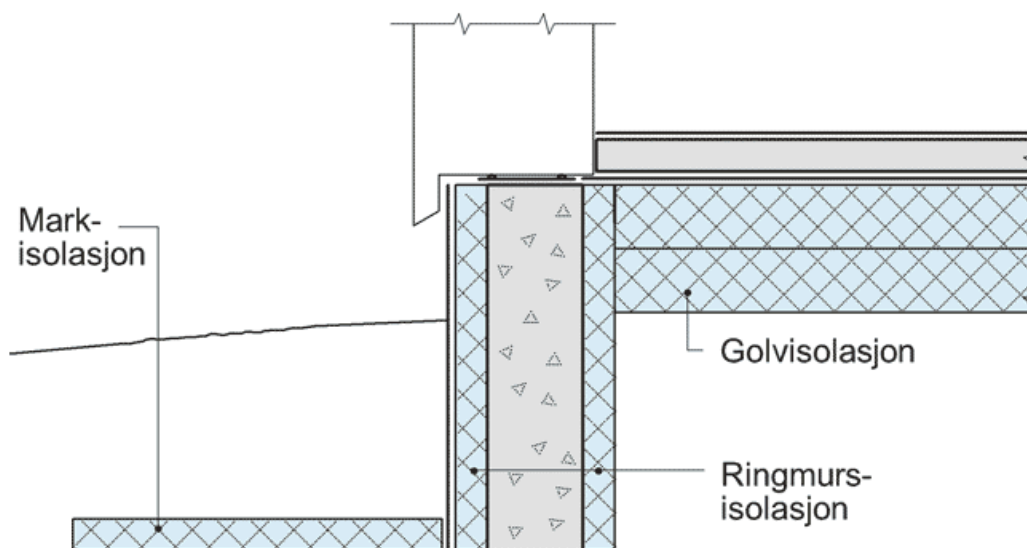
### 3.1.3 Telesikring

Telesikring kan ansees for å være et konstruksjonsteknisk fagområde, men dette vil også spille inn i bygningsfysisk vurdering i garasjeanlegg. Dersom en har en uoppvarmet eller delvis oppvarmet garasje med lav temperatur (rundt 5°C), vil isolasjonsmengden i ringmur eller vegg ha betydning for kondens på overflater ved værerslag. Ved å legge inn slik isolasjon for telesikring, blir overflatene mindre utsatt for kondens ved slike værerslag. Isolasjonstykkelsen kan bestemmes etter Byggforskblad 521.112 (Byggforsk 2005). Byggforskbladet henvender seg i hovedsak til ringmurer, men kan også gjelde for garasjeanlegg (Byggforsk 1997).

Som eksempel er det vist at en fra tabell 3.1 kan bestemme nødvendig isolasjonsmengde for både utvendig og innvendig isolering i telefarlig grunn. Bladet gir også opplysninger om kun utvendig isolerte ringmurer, samt isolasjon for å forhindre frostgjennomslag på fjellgrunn (ufarlig grunn). Isolasjonsplassering er vist i figur 3.1

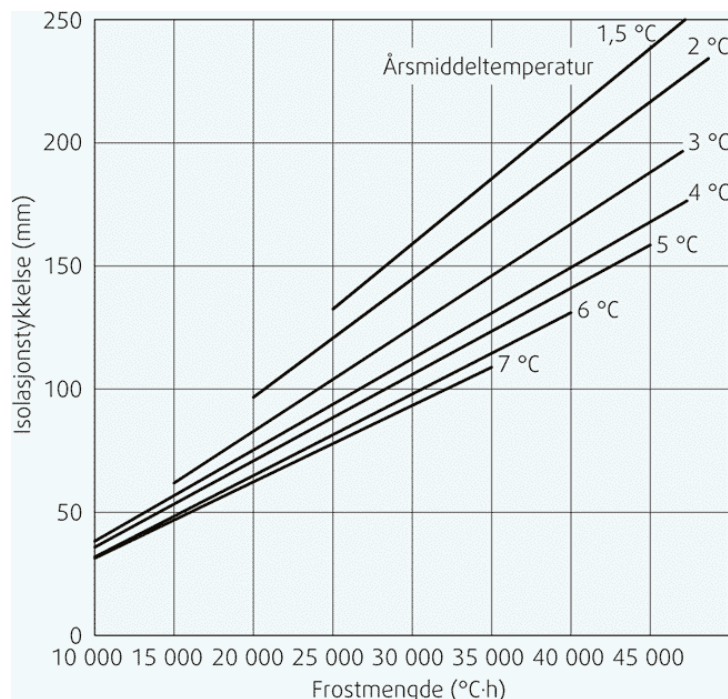
Frostmengde (h°C) inntil	Markisolasjon		Ringmursisolasjon
	Tykkelse mm	Vegg(b)/Hjørne(B) mm	Tykkelse mm
15 000	50	300/600	50x2
20 000	50	400/600	50x2
25 000	50	500/900	50x2
30 000	50	800/1200	50x2
35 000	50	900/1500	50x2
40 000	70	1000/1500	50x2
45 000	70	1200/1800	50x2
50 000	100	1300/1800	100x2
55 000	100	1700/2400	100x2
60 000	100	1900/2400	100x2

Tabell 3.1 Nødvendig isolasjonsmengde for telefarlig grunn (Byggforsk 2005)



Figur 3.1 Plassering av isolasjon for telesikring (Byggforsk 2005)

Det vises også til Byggforskblad 521.811 *Telesikring av uoppvarmede bygninger og konstruksjoner* (Byggforsk 2010). På tross av at garasjekjellerne gjerne er delvis oppvarmet, kan dette være aktuelle løsninger å benytte. Disse isoleres kun på kald side av fundamentet. For å bestemme nødvendig isolasjonstykkelse for telesikring kan en benytte grafene i figur 3.2 under. Disse viser isolasjonstykkelse som funksjon av frostmengde [ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ ] og temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ].



**Figur 3.2 Nødvendig isolasjonstykkelse for telesikring av uoppvarmede konstruksjoner (Byggforsk 2010)**

For å bestemme nødvendig bredde på markisolasjonen (hvor langt ut fra bygget den stikker, se figur 3.1) kan en benytte tabell 3.2, gjengitt fra Byggforskbladet. Denne viser markisolasjonsbredde avhengig av dimensjonerende frostmengde.

Dimensjonerende frostmengde $h^{\circ}\text{C}$					
	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000
Bredde	0,5	0,75	1,0	1,25	1,50

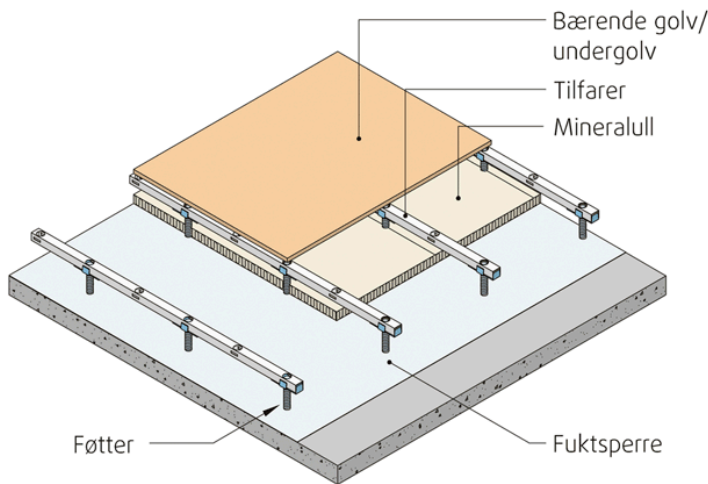
**Tabell 3.1 Markisolasjonens bredde for uoppvarmede konstruksjoner (Byggforsk 2010)**



### 3.2 Dekkekonstruksjon

Kapittelet omtaler anbefalinger for dekkekonstruksjoner mot delvis eller uoppvarmede rom.

Den aktuelle løsningen vist i vedlegg 1 omfatter et tilfarergulv eller systemgulv. Sintef Byggforsk angir i Byggforskblad 522.362 (Byggforsk 2009) sine anbefalinger for slike bygningsdetaljer. Et tilfarergulv er en gulvkonstruksjon der det bærende gulvet er festet til tilfarere, rekker av tre eller stålprofiler. Oppgavens aktuelle detalj omfatter tilfarere av stål som hviler på en etasjeskille av betong. Den prinsipielle oppbyggingen av et tilfarergulv er vist i figur 3.3 under.

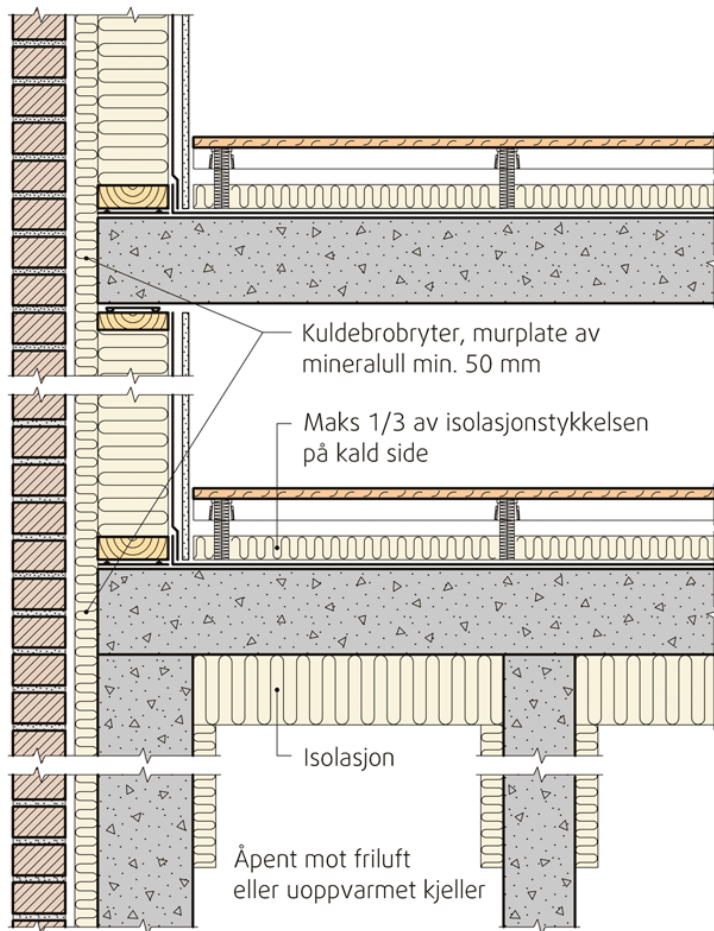


**Figur 3.3 Prinsipiell oppbygging av tilfarergulv (Byggforsk 2009)**

For valg av system, anbefaler (Byggforsk 2009) følgende vurderingskriterier:

- *Planhet på underlag.* Ved ujevne underlag må plassbygde tilfarergulv bygges opp til jevn høyde ved hjelp av kiler, eventuelt klosser med tilpasset høyde. Systemgulv har føtter som kan justeres
- *Nødvendig høyde på gulvoverflaten.* Ved ekstra store byggehøyder kan systemgulv være mest aktuelt. Systemgulv kan spesialleveres med store høyder.
- *Isolasjonstykkelse mellom tilfarerne.* For å unngå fuktproblemer er det satt en maks grense for isolasjonstykkelse mellom tilfarerne. Generelt gir systemgulv av stål mindre risiko for fuktproblemer enn tilfarere av tre.
- *Lydisolering.* For å oppnå god lydisolering for plassbygde tilfarergulv av tre legges tilfarerne på elastiske klosser. Systemgulv har forskjellige løsninger avhengig av krav til lydisolering.
- *Svikt.* Ved plassbygging av tilfarergulv av tre får gulvet mer svikt hvis tilfarerne legges på klosser enn om tilfarerne legges direkte på dekket/gulvet. Stivheten til klossene har også betydning for svikten. Informasjon om svikt for systemgulv gis av produsent/leverandør.

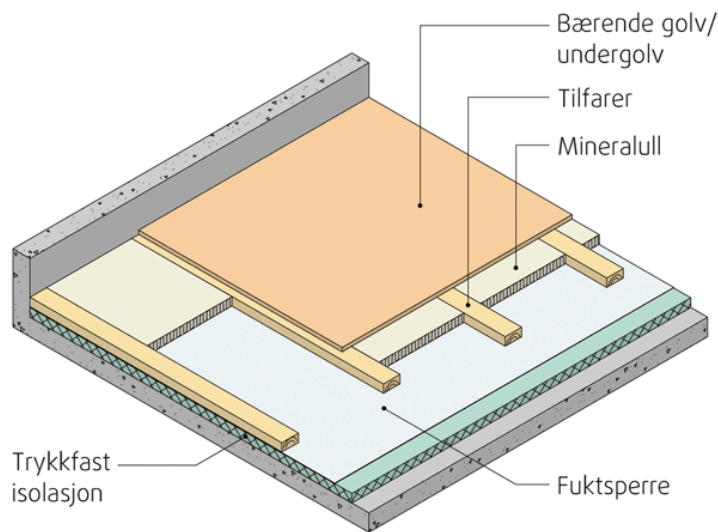
Med hensyn til isolasjonstykkelse og fuktproblematikk anbefales isolasjons plassering som vist på figur 3.4. Dette er også gjenstand for undersøkelse i form av simuleringer i WUFI 2D senere i oppgaven. Den nederste detaljen vist i figur 3.4 er for øvrig en tilsvarende situasjon som detaljen Skanska ønsket undersøkt.



**Figur 3.4 Anbefalt isolasjons plassering for tilfarergulv (Byggforsk 2009)**

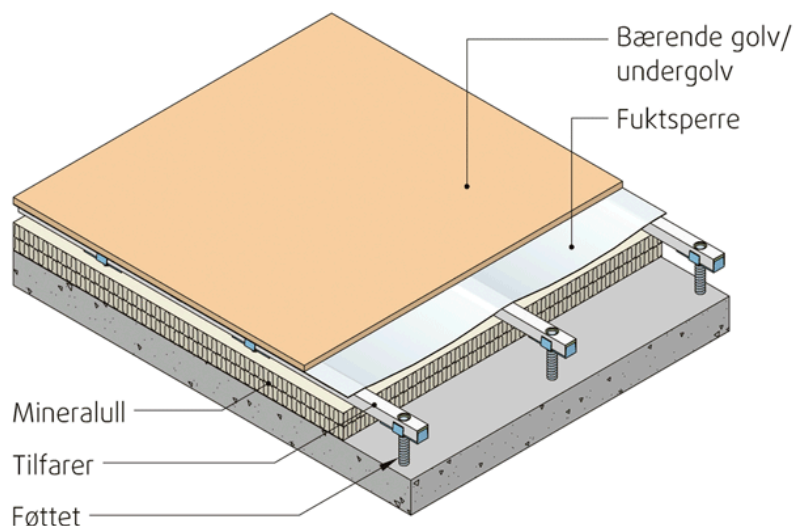
Når det isoleres mellom tilfarere og det samtidig er lite eller ingen isolasjon på kald side av dekket, øker risikoen for kondens og vekst av muggsopp i tilfarergulvet. Denne tendensen er undersøkt og bekreftet senere i oppgaven. Isolasjonstykkelsen i tilfarergulvet begrenses derfor av mengden utvendig isolasjon. Som vist på figur 3.4, bør ikke isolasjonen mellom tilfarerne være mer enn 1/3 av isolasjonen på kald side. Kuldebroer bør bryters av minimum 50mm isolasjon. Tilfarergulv kan isoleres med mineralull. Plastisolasjon skal ikke brukes mellom tilfarerne, men kan legges under som omtalt videre i kapittelet.

For å øke mengden isolasjon, kan en i plassbygde tilfarergulv legge tilfarerne på et lag trykkfast isolasjon. Fuktsperre plasseres på den trykkfaste isolasjonen. Løsningen er vist i figur 3.5. For standardløsninger med anbefalt mengde isolasjon i gulvet, skal fuktsperre legges mellom tilfarergulvet og konstruksjonen under.



**Figur 3.5** Eksempel på økt isolasjon i plassbygde tilfarergulv (Byggforsk 2009)

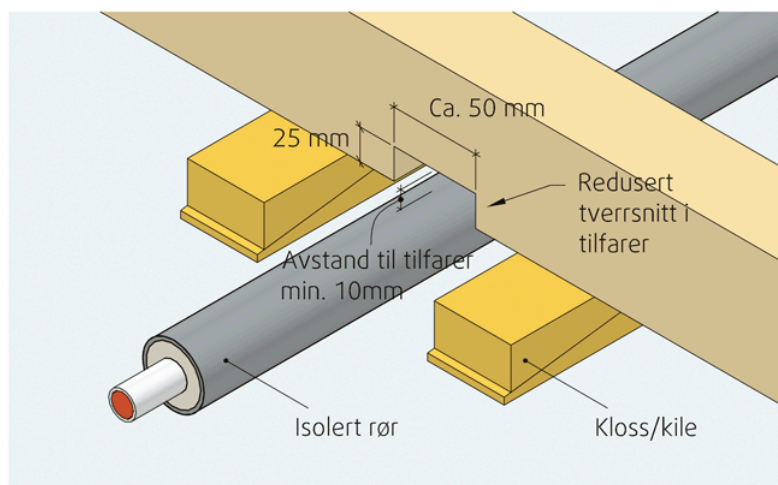
For systemgulv som består av fuktsikre materialer som stål, kan økt isolasjonsmengde oppnås ved å legge fuktsperre oppå tilfarerne. Ved en slik løsning presiseres det at RF i betongen ikke overstiger 90% ved lukking. Løsningen er vist i figur 3.6. Dette er en alternativ løsning for detaljen i oppgaven. Det er likevel ikke ønskelig å benytte fuktsperre i gulvet fra Skanskas side, for å unngå å fange fukt i gulvet (Mangor-Jensen 2012). Det er i praksis umulig å legge plastfolie oppå Granab-systemet benyttet. Legges det dampsperre oppå gulvspon, vil en ha trevirke mellom to damptette lag, som skaper stor fare for muggvekst og råteskader.



**Figur 3.6** Eksempel på økt isolasjon i systemgulv (Byggforsk 2009)

For å unngå at kald uteluft gir lavere temperatur på overflater er det viktig å unngå luftlekkasjer. Den kalde overflatetemperaturen vil bidra til å øke RF, og dermed også potensial for kondens og muggvekst. Det er derfor viktig å ha fokus på lufttetthet mellom gulv og vegg, samt gjennomføringer. Luftlekkasjer mot kjeller vil også føre til at fuktig luft fra kjelleren siger opp og kan kondensere på kalde overflater. Fuktsperre skal legges slik at den overlapper med dampspærre i yttervegg for å hindre luftlekkasjer. Legges det tilfarergulv på eksisterende gulv uten overlapp mellom fuktsperre under gulv og dampspærre i vegg, må det legges ny fuktsperre under tilfarerne med overlapp til dampspærre i vegg.

Systemgulv på føtter er spesielt godt egnet for rørføring. Det er tilstrekkelig plass til rørføring, og arbeidet kan utføres raskt. Det samme gjelder for plassbygde tilfarergulv på klosser. En kan også redusere tverrsnittet ved røret noe, som vist på figur 3.7 må da tilfarerne klosses opp. Vannrør bør være isolert for å unngå temperatursvingninger.



Figur 3.7 Redusert tverrsnitt som følge av rørføring (Byggforsk 2009)

### 3.3 Energiberegninger etter NS3031

Kapitlet er en presentasjon av aktuelle deler av NS3031 *Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data* i sammenheng med garasjeanlegg. Det presenteres også enkelte bestemmelser i TEK 10.

NS3031 opplyser ikke konkret om hvordan varmetap mot delvis oppvarmede rom og soner skal beregnes. Kapitel 6 tar for seg totalt netto energibehov.

Fra punkt 6.1.1.1 finner en at det totale varmetapet for måned  $i$  beregnes som:

$$Q_{H,ls,i} = (H_D + H_U + H_V + H_{inf})(\theta_{set,H} - \theta_{e,i})t_i + Q_{g,i} \quad [kWh] \quad (1)$$

der

$H_D$  er direkte varmetransmisjonstap til det fri i W/K

$H_U$  er varmetransmisjonstap til uoppvarmede soner, i W/K

$H_V$  er ventilasjonsvarmetap, i W/K

$H_{inf}$  er infiltrasjonsvarmetapet, i W/K

$t_i$  er antall timer i måneden delt på 1000

$Q_{g,i}$  er varmetap til grunnen for måned  $i$ , i kWh

$\theta_{set,H}$  er settpunkt-temperaturen for oppvarming, i °C

$\theta_{e,i}$  er gjennomsnittlige utetemperatur for måned  $i$ , i °C

Som en ser av formelen, og NS3031 for øvrig, er det ingen punkter som henvender seg direkte til varmetap mot delvis oppvarmede rom eller soner.

TEK 10 gir i utgangspunktet to alternativ for å beregne varmetap i forbindelse med delvis oppvarmede rom. En kan velge å ta det delvis eller uoppvarmede arealet med som oppvarmet del av BRA, og skal da anses for å ha samme temperatur som tiliggende, oppvarmede rom. Dersom en velger ikke å inkludere det delvis oppvarmede, eller uoppvarmede, i BRA kan rommets varmemotstand tas med i beregningen av varmetapet for konstruksjonene som grenser mot rommet, noe som er vanlig praksis i Skanska (Mangor-Jensen 2012). Varmetapet beregnes da etter punkt 6.1.1.1.2 *Beregning av varmetap gjennom bygningsdeler mot uoppvarmede rom/soner* (Direktoratet for Byggkvalitet 2011).

### 3.3.1 Varmetap mot uoppvarmede soner

Spesifikt varmetap for bygningsdeler som vender mot uoppvarmede rom eller soner beregnes som:

$$H_U = b(\sum U_i A_i + \sum \Psi_{k,l,k}) \quad (2)$$

Varmetapsfaktoren  $b$  er gitt ved:

$$b = H_{ue} / (H_{iu} + H_{ue}) \quad (3)$$

der

$H_{iu}$  er varmetapskoeffisienten mellom den oppvarmede delen av bygningen og den uoppvarmede sonen, i W/K

$H_{ue}$  er varmetapskoeffisienten mellom den uoppvarmede delen av bygningen og det fri, i W/K

Ved forenklete beregninger kan  $b$  bestemmes av tabell B.7 i tillegg B. For uoppvarmede, men ventilerte, parkeringskjellere er verdien for  $b$  satt til 0,91.

Teknisk forskrift gir ingen konkret veiledning til isolering av delvis oppvarmede rom. Forskriften og veiledning sier at en skal isolere etter oppvarmingsgrad, og Skanska har derfor valgt å løse dette slik at en ikke har større varmetap enn ved vanlig oppvarming (Mangor-Jensen 2012). En benytter punkt 6.1.1.1.3 *Varmetap mot grunnen* for å beregne varmetapet.

### 3.3.2 Varmetap mot grunnen

Standarden gir retningslinjer for beregning av varmetap mot grunnen for vegger og gulv, men ikke fra overliggende dekke. Dette er aktuelt dersom garasjens grunnflate er større enn bygget over. Normalt beregner ikke Skanska dette varmetapet, men legger inn "fornuftig" mengde isolasjon i forhold til oppvarmingsgrad og sikring mot kondens (Mangor-Jensen 2012).

Varmemotstanden i 100mm isolasjon, som vist på detalj vedlegg 1, er høy nok til at en ikke trenger å komplisere beregningene unødvendig.

En kan supplere beregningene i NS3031 med verktøy i NS13370 *Bygningers termiske egenskaper-Varmeegenskaper-Beregningsmetoder*. Kapittel 9.3 inneholder beregningsmetoder for oppvarmede kjellere, 9.4 for uoppvarmede og 9.5 for delvis oppvarmede. Med "delvis oppvarmede", menes ikke å holde en lav temperatur, men å varme opp kun deler av kjelleren. NS13370 gir altså heller ikke noen konkret veiledning for beregning av varmetap ved rom med lav temperatur, men er et godt supplement til NS3031.

### 3.3.3 Ventilasjonstap

Slike delvis oppvarmede garasjer kan benytte spillvarme fra oppvarmede deler av bygget for å opprettholde ønsket temperatur. Som nevnt tidligere, kan og vil en ha avtrekksventilasjon for å håndtere forurensning og fukttilskudd. Med hensyn til ventilasjonstap, inneholder NS3031 følgende beregningsmetode, punkt 6.1.1.1.4.

Varmetapskoeffisienten for ventilasjon beregnes som:

$$H_V = 0,33 \times \bar{V} (1 - \eta_T) \quad [\text{W/K}] \quad (4)$$

der

$\bar{V}$  er gjennomsnittlig ventilasjonsluftmengde, i  $\text{m}^3/\text{h}$

$\eta_T$  er temperaturvirkningsgraden for varmegjenvinner

faktoren 0,33 er luftens varmekapasitet per volum, i  $\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}$

Den gjennomsnittlige ventilasjonsluftmengde  $\bar{V}$  beregnes som:

$$\bar{V} = (t_{\text{on}} \bar{V}_{\text{on}} + t_{\text{red}} \bar{V}_{\text{red}}) / (t_{\text{on}} + t_{\text{red}}) \quad (5)$$

der

$t_{\text{on}}$  er antall timer i måneden i driftstiden

$t_{\text{red}}$  er antall timer i måneden utenfor driftstiden

$\bar{V}_{\text{on}}$  er den gjennomsnittlige ventilasjonsluftmengden i driftstiden, i  $\text{m}^3/\text{h}$

$\bar{V}_{\text{red}}$  er ventilasjonsluftmengden utenfor driftstiden, i  $\text{m}^3/\text{h}$

Standardiserte verdier for  $t_{\text{on}}$  og  $t_{\text{red}}$  hentes fra tabell A.3 i standarden. For garasjer er verdiene ikke oppgitt. Det er grunn til å anta at ventilasjonen i en garasje må gå relativt konstant, eller behovstyres. Avtrekket må også være større enn tilluftsmengden for å opprettholde undertrykk i garasjen (Direktoratet for Byggkvalitet 2011). Det kan altså være en liten utfordring å få disse på plass ved enkle, innledende beregninger.

Veiledende verdier for  $\bar{V}_{\text{on}}$  og  $\bar{V}_{\text{red}}$  kan hentes fra standardens tabeller B.1 og B.2. Det finnes ingen verdier for garasjer spesifikt. Tidligere er det nevnt at minimumsventilasjon av garasjer er  $3\text{m}^3/\text{h}$  per  $\text{m}^2$  bruttoareal for langtidsparkering og  $6\text{m}^3/\text{h}$  per  $\text{m}^2$  bruttoareal for korttidsparkering (Byggforsk 1997). Disse kan en benytte som veiledende verdier.

### 3.3.4 Infiltrasjonstap

Beregning av varmetap som følge av infiltrasjon kan finnes i punkt 6.1.1.1.5 i standarden. Varmetapskoeffisienten for infiltrasjonstap beregnes som:

$$H_{inf}=0,33 \times n_{inf}V \quad [\text{W/K}] \quad (6)$$

Faktoren 0,33 er luftens varmekapasitet per volum,  $[\text{Wh/m}^3\text{K}]$

Luftskifte for infiltrasjon beregnes som:

$$n_{inf} = \frac{n_{50}e}{1 + \frac{f}{e} \left( \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{V n_{50}} \right)} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (7)$$

der

$e, f$  er terrengskjermingskoeffisienter

$n_{50}$  er lekkasjetall ved 50Pa, i  $\text{h}^{-1}$

$V$  er oppvarmet luftvolum, i  $\text{m}^3$

$\dot{V}_1$  er tilluftsmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i  $\text{m}^3/\text{h}$

$\dot{V}_2$  er avtrekksluftmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegg, i  $\text{m}^3/\text{h}$

Standardiserte verdier for terrengskjermingskoeffisientene er oppgitt i tabell A.5 i standarden. For alle bygningskategorier og skjermingsklasser er disse 0,07 og 15 for henholdsvis  $e$  og  $f$ . Veiledende verdier for lekkasjetall finnes i tabell B.3 i standarden. Følger en TEK 10 er kravet 2,5 og 1,5  $\text{h}^{-1}$  for henholdsvis småhus og øvrige bygninger (Direktoratet for Byggkvalitet 2011). Her ligger utfordringen knyttet til beregningene. Lufttettheten kan ikke vites før garasjen står ferdig. I Skanska er en av oppgavene til Skanska Produktdesign å måle lekkasjetallet i eksisterende bygninger (Mangor-Jensen 2012). En kan derfor benytte erfaringstall fra tidligere prosjekter i bedrifter med en tilsvarende praksis.



### 3.3.5 Varmetilskudd

Varmetilskudd i NS3031 beregnes som summen av soltilskudd og interne tilskudd. I en garasjekjeller vil det være minimalt med soltilskudd, avhengig av hvordan porten er utformet. En vil uansett få et lite bidrag. Varmetilskuddet beregnes som følger:

$$Q_{gn,i} = Q_{sol,i} + Q_{int,i} \quad (8)$$

Utfordringen oppstår ved beregning av internt varmetilskudd. Punkt 6.1.1.2.2 oppgir at internt varmetilskudd i måned  $i$  beregnes som:

$$Q_{int,i} = t_i (q''_{lys} + q''_{uts} + q''_{per} + q''_{fan}) A_{fl} \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

der

$t_i$  er antall timer i måneden, delt på 1000 for omregning til kWh

$q''_{lys}$  er spesifikt gjennomsnittlig varmetilskudd fra belysning, i  $\text{W}/\text{m}^2$

$q''_{uts}$  er spesifikt gjennomsnittlig varmetilskudd fra utstyr, i  $\text{W}/\text{m}^2$

$q''_{per}$  er spesifikt gjennomsnittlig varmetilskudd fra personer, i  $\text{W}/\text{m}^2$

$q''_{fan}$  er spesifikt gjennomsnittlig varmetilskudd fra vifter, i  $\text{W}/\text{m}^2$

Verdier for varmetilskudd fra lys, utstyr og personer er gitt i tabell A.2. Også her mangler en kategori for garasjer og kjellere, samt at verdiene kun gjelder for oppvarmet del av BRA. Hva gjelder tilskudd fra lys, bør dette være gjennomførbart å beregne. Lys i moderne garasjer vil gjerne være behovsstyrt, som kan gi en noe større utfordring til tilnærmingen.

Varmetilskudd fra personer vil være tilnærmet eller helt neglisjerbar, da oppholdstiden i garasjen vil være meget begrenset med unntak av dekkskift, eventuell bilvask og lignende.

Varmetilskudd fra vifter kan være en essensiell del av beregningen, da oppvarmingen kan komme fra overskuddsvarme fra oppvarmede rom. Ekstra oppvarming kan være aktuelt under lengre eller kortere kuldeperioder. I de dokumenterte prosjektene fremskaffet av Skanska, presentert i kapittel 4, er dette ikke tilfellet. Her benyttes kun aerovarmere for å varme opp luften. I tillegg henvises det til NS-EN ISO 12241 for beregning av varmetap fra rør og komponenter i varmeanlegget. Dette kan også være aktuelt for varmetap fra uisolerte varmtvannsrør som går gjennom garasjen.

Varmetilskudd fra utstyr bør i utgangspunktet være lett å beregne. Utstyrsmengden i en garasje vil være begrenset. Likevel kan de være en utfordring å ta hensyn til varmetilskuddet fra bilene, som har en meget varm motor og kupé i det de parkerer.

### 3.3.6 Energibehov for vifter og pumper

Som en tilleggsopplysning nevnes energibehov for vifter og pumper. Som nevnt i kapittel 4 er det vanlig praksis i Skanska å benytte aerovarmere for å varme opp luften i garasjeanleggene. Disse kan også benytte vannbåren varme, avhengig av modell og produsent.

Punkt 6.1.4 i standarden omtaler beregning av årlig energibehov for vifter som:

$$E_{fan,i} = \frac{\dot{V}_{on} SFP_{on} t_{i,on} + \dot{V}_{red} SFP_{red} t_{i,red}}{3600} \text{ [kWh]} \quad (10)$$

der

$t_{i,on}$  er antall timer i driftstiden i måned  $i$ , i h

$t_{i,red}$  er antall timer utenfor driftstiden i måned  $i$ , i h

$SFP_{on}$  er spesifikk vifteeffekt relatert til luftmengder i driftstiden, i kW/(m<sup>3</sup>/s)

$SFP_{red}$  er spesifikk vifteeffekt relatert til luftmengder utenfor driftstiden, i kW/(m<sup>3</sup>/s)

$\dot{V}_{on}$  er luftmengden i driftstiden, i m<sup>3</sup>/h

$\dot{V}_{red}$  er luftmengden utenfor driftstiden, i m<sup>3</sup>/h

Flere av disse konstantene benyttes også for beregning av ventilasjonstapet, og er ikke oppgitt for garasjeanlegg. Dette gjelder driftstiden for ventilasjon, gitt i tabell A.3, og luftmengder og SFP-faktorer gitt i tabell B.1 og B.2.

Årlig energibehov for pumper og vannbaserte varme-, kjøleanlegg og varmtvannssirkulasjon beregnes som:

$$E_p = \dot{V}_W SPP t_{dr} \text{ [kWh]} \quad (11)$$

der

$\dot{V}_W$  er sirkulert vannmengde gjennom pumpen, i l/s

SPP er spesifikk pumpeeffekt, i kW/l/s

$t_{dr}$  er antall driftstimer i året for pumpe, i h

I tillegg I (informativt) i standarden vises beregning av sirkulert vannmengde, noe som ikke skaper noen problemer for garasjer. Veiledende verdier for antall driftstimer kan finnes i tabell I.2. Denne oppgir ingen verdier for garasjeanlegg spesifikt.

Det vil ikke være aktuelt å bruke energi på kjøling i garasjen.

## 4 Kartlegging av reelle prosjekter

Dette kapittelet er en kartlegging av reelle prosjekter der Skanska har eller er involvert. Dette brukes som en dokumentasjon på hvordan Skanska har utformet sine garasjeanlegg for å løse bygningsfysiske utfordringer. Opplysningene er fremskaffet av (Bär 2012).

### 4.1 Fornebu 8.5 (Piloten)

Piloten på Fornebu i Bærum er et boligprosjekt i tre byggetrinn. Totalt omfatter prosjektet 140 leiligheter med garasjeanlegg. Utbygger for prosjektet er OBOS med Skanska som entreprenør. (OBOS u.d.)



Figur 4.1 Illustrasjonsfoto Piloten (OBOS u.d.)

Prosjektets boligblokker er utformet av bindingsverkvegger med teglfasade. Garasjeanlegget er felles for alle boligblokkene, og grenser derfor både mot oppvarmet areal, terrasser og grunn på oversiden.

#### *Garasjekjellerens konstruksjon*

Gulvet i garasjen er 120mm armert som gulv på grunn, isolert med 100mm XPS i randsoner. Veggene består av 230mm massive, plasstøpte betongvegger. Dekke over kjeller er HD320 og HD290, 320mm og 290mm tykke hulldekkeelement.

#### *Dreneringssystem*

Kjelleren er konvensjonelt drenert, med drenerende masser rundt hele bygget. Drensledning ligger i randsonen av bygget og en ledning som går midt under konstruksjonen.

#### *Isolasjon*

Vegger er kondensisolert med 50mm EPS ned til fundamentet. HD320-elementene er isolert over med 100mm EPS/XPS, under øvrige oppbygninger for gress, busker, grus etc.

#### *Himling*

Ingen garasjehimling. I områdene som grenser mot boligblokkene er det foret opp med 130mm EPS som del av A-plan flytgulv over HD290.

#### *Ventilasjonssystem*

Tillfuten til garasjen trekkes inn via rister i fasade og varmes opp til minimum 5°C av aerovarmere. Det er også brukt luft fra boder som holder ca. 10-12°C. Avtrekk gjennomføres punktvis, hvor avkastluft kastes direkte ut.

## 4.2 Pilestredet Park

Pilestredet Park i Oslo omfatter 85 000m<sup>2</sup> nye leiligheter, hus, kontorer og næringslokaler. Området var tidligere tilholdssted for Rikshospitalet. Antallet leiligheter er 1380. Prosjektet hadde ambisiøse miljømål utformet av Statsbygg og Oslo kommune, og ble belønnet med en rekke priser for dette (Skanska 2011). Skanska Norge fungerte både som utbygger og entreprenør under prosjektet.

Informasjonen er basert på siste byggetrinn, felt K.

Boligblokkene består av bindingsverkvegger med puss på isolasjonen.

### *Garasjekjellerens konstruksjon*

Gulvkonstruksjonen består av 120mm armert betong på grunn. Veggene er bygd opp av 250mm massive kjellervegger som prefabrikkerte betonelementer. Dekke over kjelleren er HD265 hulldekkeelementer.

### *Dreneringssystem*

Kjelleren er konvensjonelt drenert med drensledning i randsonen av bygget, samt en ledning som går under midten av bygget. Drenerende masser ligger rundt hele bygget.

### *Isolasjon*

Vegger er isolert med 50mm EPS ned til frostfri dybde, ca. 180cm. Dekke over garasjen er isolert med 50mm XPS på oversiden under påstøp.

### *Himling*

Det er montert 150mm himlingsisolasjon i garasjen under dekket i hele planet over garasjen i felt K.

### *Ventilasjonssystem*

Boligene har balansert ventilasjon med kryssveksler med 60% gjenvinning. Det er ingen avkastluft i garasjen på grunn av luktproblemer, som på det aktuelle tidspunktet ble vurdert som avgjørende. Dette betyr at all luft i garasjen tas inn utenfra og varmes opp av aerovarmere.



**Figur 4.2**  
**Illustrasjonsfoto**  
**Pilestredet Park**  
**(Skanska, Introduction:**  
**Pilestredet Park 2011)**

### 4.3 Frydenberg Park

Prosjektet ligger på Sinsen i Oslo, nord for Tøyenparken i bydel Grünerløkka og omfatter 125 boliger (Skanska u.d). Garasjeanlegget strekker seg under en rekke boligblokker. Anlegget grenser derfor både mot boligblokker og takterrasse på oversiden. Prosjektets boligblokker består av sandwich-elementer.

Anlegget har to ulike oppbygninger, og er delt opp i felt A og B. Konstruksjonen varierer av ulike årsaker, som laster, grunnforhold etc.

#### *Garasjekjellerens konstruksjon*

Felt A: 230mm plasstøpte kjellervegger. Dekke over kjeller består av HD320-elementer, 320mm tykke hulldekkeelementer. Kjellergulvet består av asfalt.

Felt B: 230mm plasstøpte kjellervegger. Dekket over kjeller er HD320-elementer. Kjellergulvet er bygget opp av 120mm armert betong.

#### *Dreneringssystem*

Fullstendig drenert kjeller etter konvensjonell løsning, 110mm drensledning langs kjellerveggene. Felt B suppleres med pumpe etter behov.

#### *Isolasjon*

Kjelleren er kondensisolert utvendig med 50mm EPS på veggene 120cm ned fra ferdig terreng. Dekke over kjeller er kondensisolert med 50mm XPS.

#### *Himling*

Det er ingen himling i garasjen, det er kun isolert i himling i områdene rundt garasjeportene for å unngå kondensering. Oversiden av dekke i leilighetene er et A-plan flytegulv med 130mm polystyren-isolasjon.

#### *Ventilasjonssystem*

Luft tas inn ved garasjeport. Boligene har mekanisk avtrekksventilasjon, og en kan derfor ikke hente noe varme fra disse for å varme opp garasjen. All ventilasjonsluft til garasjen varmes opp av aerotempere på innsiden av risten ved garasjeporten.

Felt B har balansert ventilasjon med kryssveksler med 60% gjenvinning, og fungerer etter samme prinsipp som felt A. Luft til felt B tas inn ved rømningstrapp og varmes opp med aerovarmere.



Figur 4.3 Illustrasjonsfoto Frydenberg Park (Skanska u.d.)

#### 4.4 Oppsummering

Under i tabell 4.1 sees en oppsummering av prosjektenes utforming og egenskaper. Skanska har et ønske om å standardisere sin byggeskikk og gjøre prosjektene likere å bygge for å forbedre resultatene sine og minimere feil (Mangor-Jensen 2012). Dette gjøres blant annet gjennom Skanska teknikk, der Skanska Produktdesign og konstruksjonsteknisk avdeling samarbeider om å utforme solide, bærekraftige løsninger. En kan se klare tendenser til dette i prosjektene. Prinsipielt er bæresystemene like, ventilasjonssystemet deler løsninger og drenering fungerer på om lag samme måte.

Kun ett av prosjektene benytter spillvarme fra andre konstruksjonsdeler, men hvor stort bidrag dette utgjør er det ikke kommet opplysninger om.

<i>Prosjekt</i>	<i>Bære-konstruksjon over bakken</i>	<i>Garasje-konstruksjon</i>	<i>Drenerings-system</i>	<i>Isolasjon</i>	<i>Himling</i>	<i>Ventilasjon/oppvarming</i>
Fornebu	Bindingsverk m/teglfasade	230mm vegg, HD320/290 dekke	Konvensjonell løsning	Vegg: 50mm EPS Dekke: 100mm EPS/XPS	Ingen. A-plan 130mm iso OK dekke	Ingen gjenvinning. Benytter luft fra boder samt uteluft + aerovarmer
Pilestredet	Bindingsverk m/puss	250mm vegg, HD265 dekke	Konvensjonell løsning	Vegg: 50mm EPS Dekke: 50mm XPS OK betong	150mm isolasjon	100% oppvarming av all luft vha. aerovarmer
Frydenberg	Sandwich-elementer	230mm vegg, HD320 dekke	Konvensjonell løsning	Vegg: 50mm EPS Dekke: 50mm XPS	Ingen. A-plan 130mm iso OK dekke	Felt A: 100% oppvarming Felt B: 60% gjenvinning Aerovarmer i begge felt

**Tabell 4.1 Oppsummering av garasjeanlegg**

## **5 Bygningsfysiske undersøkelser**

For å undersøke kuldebroer og fuktproblematikk med hensyn på dekkekonstruksjonen mellom garasje og leilighet, er det gjennomført simuleringer i THERM og WUFI 2D. Detaljtegning av dekkekonstruksjonen og kritisk område kan sees i vedlegg 1.

### **5.1 Fukt-/kondensvurdering**

Fra Skanskas side var det interessant å vurdere hvor vidt en kan flytte isolasjonen fra undersiden av garasjeanleggets dekke til oversiden av dekkekonstruksjonen i et oppforet gulv. Det er derfor primært fokus på denne løsningen. Det er foretatt en simulering ved opprinnelig inntegnet isolasjons plassering som referanse, da det også var ønskelig å ha en dokumentasjon på at dette ikke gir fare for kondens og muggvekst.

Programmet brukt til simuleringene er WUFI 2D versjon 3.3 (Wärme und Feuchte Instationär). Programmet bygger på WUFI 1D, men regner i to dimensjoner og kan ta høyde for kuldebroer, stigende damp og fuktinntrengning i materialene. WUFI er utviklet av Franhofer Institut für Bauphysik. Programmet implementerer koblet varme- og fukttransport, og egner seg blant annet til å vurdere fuktsikkerheten til overgangsdetaljer (Gustavsen, WUFI 2D 2010).

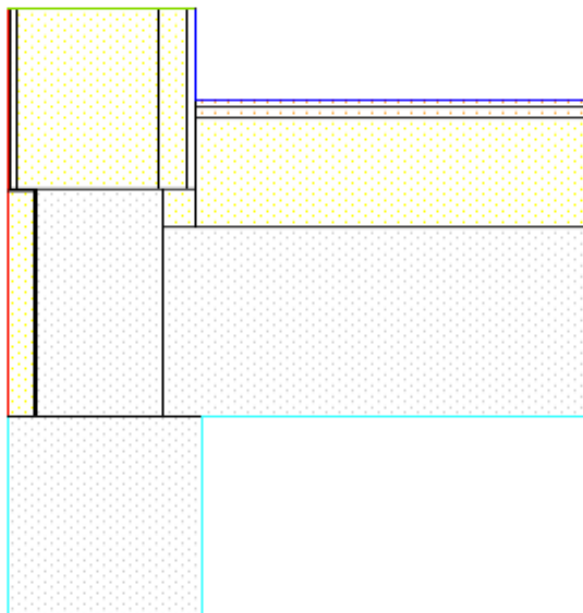
### 5.1.1 Forutsetninger

For at beregningene skulle gjennomføres uten numeriske problemer i WUFI, var det nødvendig å forenkle konstruksjonen noe. Dette førte til at huldekket under drenerende masser måtte fjernes fra modellen. For å bøte på dette er grenseverdien ved resterende sofadrager på denne siden satt til samme klimadata som i garasjeanlegget.

Simuleringene ble også gjennomført uten å modellere bunnsviller i stål, da disse viste seg å ha neglisjerbar påvirkning på det aktuelle området for kondenskontroll.

En kan se fra Figur 5.1 at det ikke er noen ytterkledning eller drenerende masser i modellen. For å gjøre dette mer realistisk er derfor regnlast neglisjert, og det er valgt uteklima på overflaten som opprinnelig ligger mot fyllmasser. Dette skal være relativt realistisk, da fyllmassene vil holde om lag samme temperatur som uteluften og regnlast er deaktivert.

Feilmeldinger programmet rapporterte og detaljert materialdata for benyttede materialer kan sees i vedlegg 3.



**Figur 5.1 WUFI-modell med fargekodede klimagrenser. Grønn angir adiabatisk, rød uteklima, lys blå garasjeclima og mørk blå angir innvendig klimagrense**



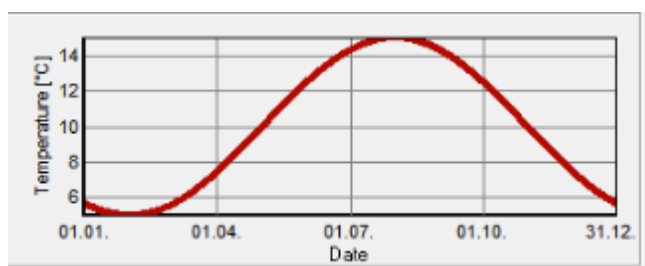
### Startbetingelser

Relativfuktighet i betong er satt til 80%. De resterende materialene har beholdt sine standardverdier på RF 50%.

### Overflater/klima

Uteklimaet er satt til Oslo. For å simulere klimaet i garasjen, er det benyttet en sinus-kurve. Denne har en middelværdi på 10°C, med amplitude 5°C og maksimalverdi 15°C satt til 1. august. Slik simuleres temperaturvariasjonene i garasjen over året. Det er naturlig å anta at temperaturen vil være høyere i sommerperioder. Ved et slikt temperaturforløp vil kun gradvise værromslag inkluderes i simuleringen, men værromslagene ved åpning av porten til garasjen vil være forbigående og i liten grad påvirke det aktuelle snittet.

Temperaturforløpet er vist i figur 5.2



Figur 5.2 Simulert temperaturforløp i garasje

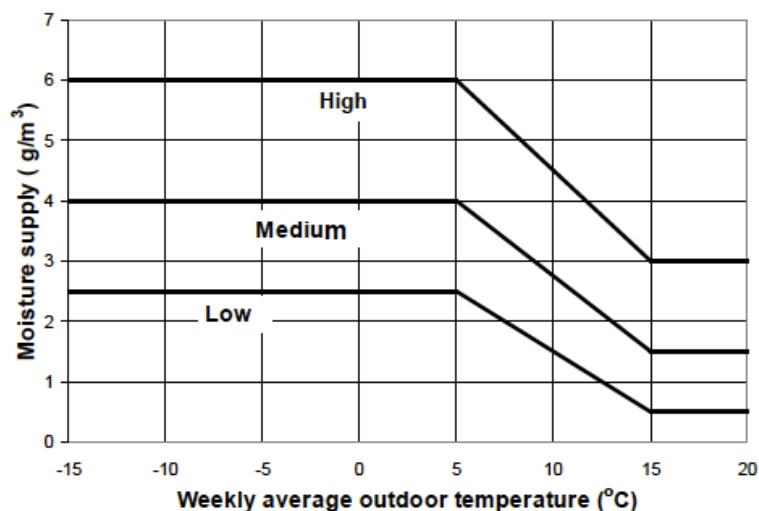
For å beregne RF i garasjen, er det benyttet månedlige MDRY-verdier for RF og temperatur for Oslo (Geving and Thue 2002). Herifra beregnes fuktinnhold i uteluft, dernest legges det til 1g/m<sup>3</sup> som fukttilskudd i garasjen fra regnvann, snø og lignende som føres inn i garasjen med biler. Deretter ble RF for garasjen beregnet etter temperaturfordelingen i sinuskurven. Resultatet er vist i tabell 5.1 under. RF ble simulert som en tilpasset sinuskurve etter disse verdiene.

Måned	T	RF	v	v <sub>G</sub>	RF <sub>G</sub>
1	-2,9	89 %	3,67218	4,67218	64 %
2	-4,1	74 %	2,56128	3,56128	52 %
3	1,7	83 %	4,5017	5,5017	78 %
4	5,4	65 %	4,54444	5,54444	69 %
5	10,6	51 %	4,92375	5,92375	63 %
6	11,6	77 %	8,0003	9,0003	79 %
7	18,2	71 %	11,04183	12,04183	97 %
8	16,5	71 %	9,97533	10,97533	86 %
9	11,2	69 %	6,99983	7,99983	64 %
10	6,3	80 %	5,9126	6,9126	64 %
11	2,3	88 %	4,98393	5,98393	72 %
12	0	81 %	3,92365	4,92365	68 %

Tabell 5.1 Beregnet RF i garasje etter utetemperatur, RF ute og fukttilskudd

Videre er det satt opp adiabatisk grensebetingelser der konstruksjonen fortsetter utover modellen, og innendørsgrenser. Disse er vist på figur 5.1, der mørk blå er innendørs, lys blå er grenser mot garasjeklima, rød er uteklima og grønn er adiabatisk grenser.

Innendørs fuktbelastning er valgt etter (Geving, Holme and Jenssen 2007). Det er valgt å benytte *low* og *medium* fukttilskudd, samt *high* som en referanse. Kategorien lav er valgt for å simulere godt ventilerte leiligheter, noe som er mest realistisk. Middels er valgt for å simulere mindre godt ventilerte leiligheter, som et "worst case-tilfelle". Figur 5.3 viser verdiene for de ulike kategoriene.

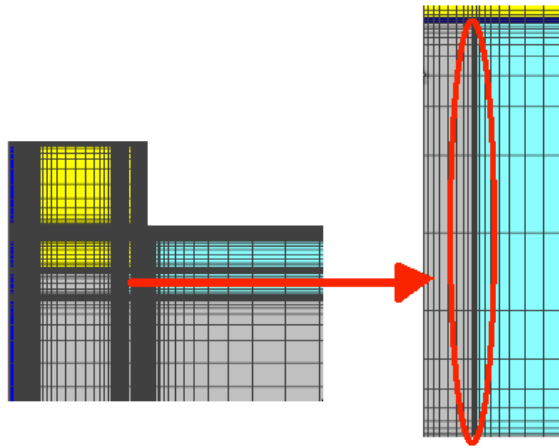


Figur 5.3 Ulike grader av fukttilskudd (Geving, Holme and Jenssen 2007)

### Beregningsparametere

Det er simulert for ett år, med en times steg, altså 8760 timer. Programmet gir mulighet til inkludere en rekke parametere i beregningene, men mine er begrenset til vanndamptrykk, temperatur og relativ fuktighet i koblet varme- og fuktt transportsimulering. Simuleringene starter 1. februar da dette er måneden med lavest temperatur og dermed gir størst konsekvenser med tanke på byggfukt. Dette gir også mulighet til å se hvordan RF-nivået utvikler seg i januar etter omfordeling av byggfukt, og likevekt er nådd. WUFI 2D tar ikke hensyn til årstall.

De aktuelle elementene valgt for simulering er vist i mørk grå farge i figur 5.4, verdiene presentert vil være et gjennomsnitt for dette området. Illustrasjonen er hentet fra resultatbehandlingsprogrammet i WUFI 2D. Kritisk område er også vist i vedlegg 1.

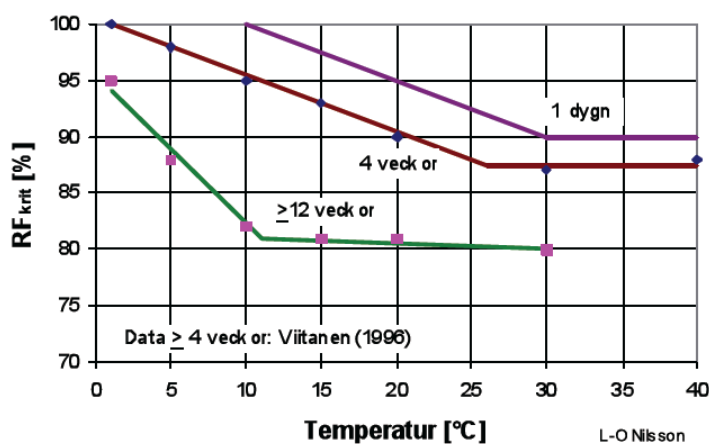


Figur 5.4 Illustrasjon av valgt området for vurdering

### Muggvekstmodell

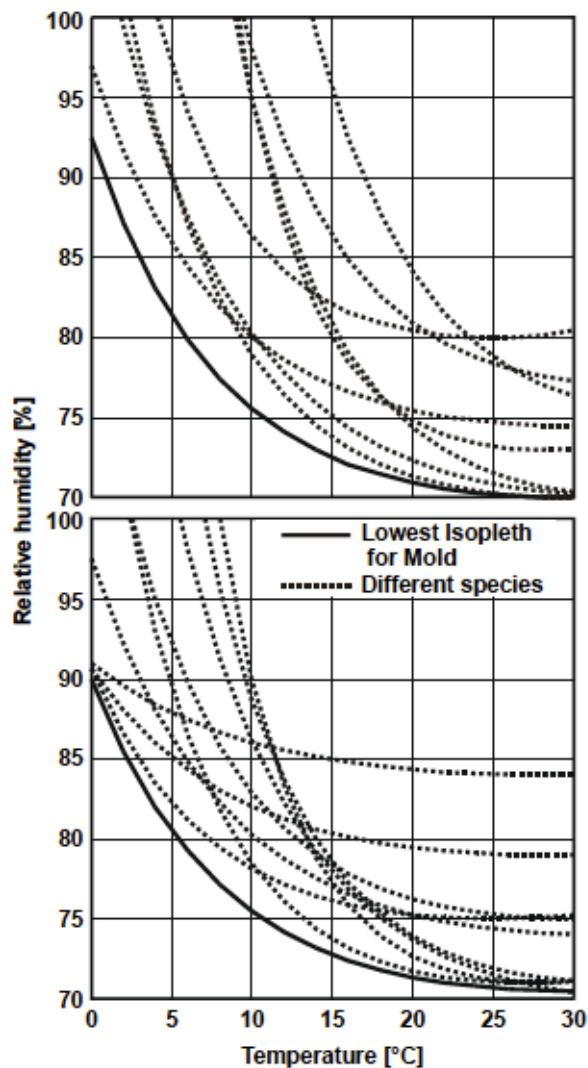
WUFI 2D versjon 3 har en innbygget muggvekstmodell i "Isopleths"-funksjonen. Dette kriteriet bygger på (Sedlbauer, et al. 2001). Denne modellen ble i hovedsak benyttet. I utgangspunktet ble denne tenkt benyttet som en veiledende modell, da den kun plotter timesdata og kun viser eksponeringstid ved visualisering som vanskelig kan gjengis i papirformat. Som presentert senere i rapporten, oppstod det ikke fare for muggvekst ved simuleringene. Dataene er derfor ikke bearbeidet videre.

Alternative muggvekstmodeller kan være enklere modeller som presentert i Byggforskblad 471.111 (Byggforsk 1999). Byggforsks kriterium for muggvekst er 80% RF over lengre perioder, uten å spesifisere hvor lange disse periodene er eller noen sammenheng med temperatur. I realiteten vil dette være en utilstrekkelig vurdering av faren for muggvekst. Et annet alternativ er å benytte modeller som inkluderer effekten av temperatur og eksponeringstid, som for eksempel (Nilsson 2009). Nilsson (2009) presenterer grafisk grenseverdier for temperatur og RF, avhengig av eksponeringstid som vist i figur 5.5. Denne modellen var tenkt som grunnlag for å vurdere muggvekstrisiko om ikke resultatene hadde vært entydig positive.



Figur 5.5 Grenseverdier for muggvekstkriterier som funksjon av RF, temperatur og eksponeringstid (Nilsson 2009)

(Sedlbauer, et al. 2001) presenterer en tilsvarende metode for å bestemme risiko for muggvekst, men tar i mindre grad hensyn til eksponeringstid. Det snakkes i stedet om LIM, Lowest Isopleth for Mold. Dette er en nedre grenseverdi for muggvekst, og andre sopparter, som funksjon av temperatur og relativ luftfuktighet. Figur 5.6 viser denne sammenhengen. Den øverste grafen viser forutsetninger for at sporene skal spire, den nederste for vekst av mycel (den vegetative delen hos sopp). Jeg har som nevnt benyttet den tilsvarende modellen innebygget i WUFI 2D, med fokus på LIM 2 som er grenseverdien for vekst på uorganiske materialer som betong.



Figur 5.6 LIM for forskjellige typer muggsopp, (Sedlbauer, et al. 2001)

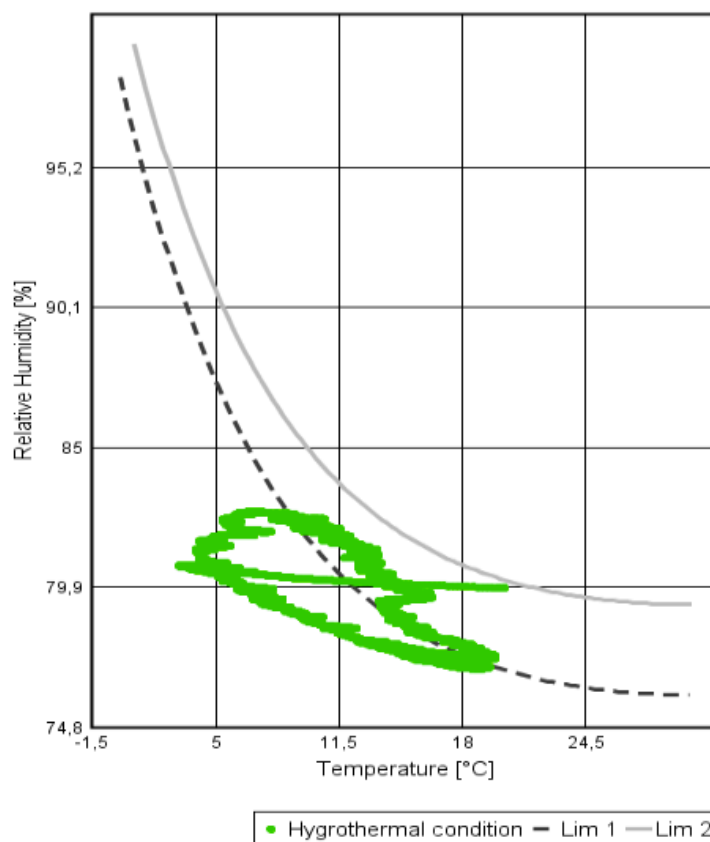
## 5.1.2 Resultater

### All isolasjon i tilfarergulv

Fra Skanskas side er det spesielt interessant å se på en løsning der all nødvendig isolasjon er plassert i tilfarergulvet. Denne innebærer å plassere isolasjonen i overkant av betongdekket, i tilfarergulvet. Dette er en mer effektiv plassering av isolasjonen, med tanke på økonomiske aspekter. Plassering på denne måten gjør arbeidet enklere og raskere, samt at en kan spare etasjehøyde i garasjen.

Det mest realistiske med tanke på ventilasjonsmengde er relativt høyt luftskifte. Dette simuleres ved å benytte fukttilskudd *low* i henhold til figur 5.3. Nye leiligheter vil ha god ventilasjon, og for fremtidige bygninger vil dette altså være mest realistisk. Det er også gjennomført simuleringer med middels og høyt fukttilskudd, for å simulere en mindre grad a ventilasjon, som referanseverdier og som en sensitivitetsanalyse.

### Isopleths



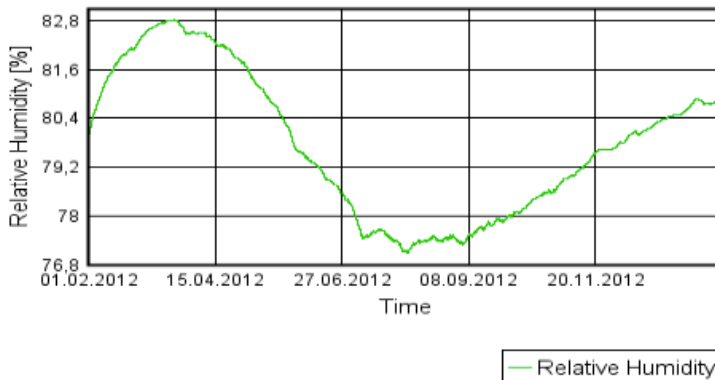
Figur 5.7 Isopleths for alternativ all isolasjon i tilfarergulv, fukttilskudd="Low" ihht figur 5.3

Resultatene fra simuleringer med høy ventilasjonsgrad er meget positive. "Isopleths"-funksjonen i WUFI viser at det ikke ved noe tidspunkt er kritiske temperatur/fukt-kombinasjoner. Linjen kalt LIM 2, viser grenseverdien for muggvekstpotensial på uorganiske materialer. Dette vil være aktuelt for oppgavens konstruksjon, som består av betong og mineralull i det aktuelle snittet. Som en kan se figur 5.7, er det en periode der verdiene ligger tett opp mot grenseverdigrafen. Om en ser dette visualisert, som når WUFI plotter verdiene, er dette en forbigående tendens som ikke varer mer enn noen få timer.

Det er verdt å merke seg at verdiene i stor grad overstiger grafen LIM 1. Dette er grenseverdien for muggvekst på organiske materialer, som trevirke og andre cellulosebaserte materialer. For tilsvarende konstruksjoner der det benyttes slike materialer, vil altså løsningen ikke være tilfredsstillende. Dette medfører også at rengjøring før gulvet legges er viktig. Det er nødvendig å fjerne all sagflis og lignende for å unngå grobunn for mugg.

I figur 5.8 ser en grafer for relativ fuktighet og temperaturforløp over året. Ved lavere temperaturer er RF naturlig nok høy. Under varmere perioder, fra om lag midten av juni til midten av september er temperaturen høy og RF lav. På tross av høye RF-verdier, noe over 80% om vinteren, er temperaturen for lav for muggvekst. Som nevnt finnes det ulike modeller for muggvekst, men ettersom WUFI har (Sedlbauer, et al. 2001) innebygget er det en enkel og effektiv måte å vurdere resultatene.

### Relative Humidity



### Temperature

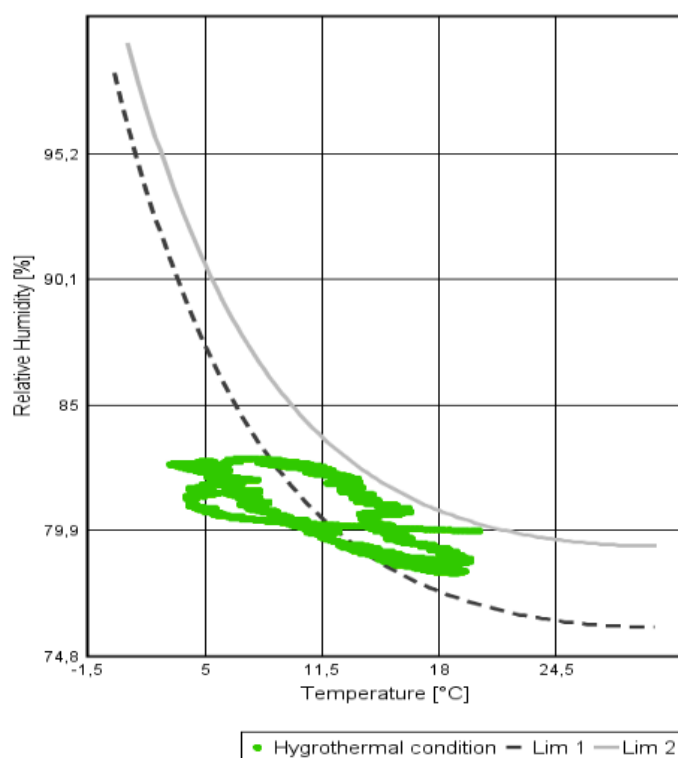


Figur 5.8 RF- og temperaturforløp, all isolasjon i tilfarergulv, fukttilskudd= "Low" ihht figur 5.3

Resultatene fra middels og høyt fukttilskudd i innelufta gir også relativt gode resultater. For fukttilskudd *medium* i henhold til figur 5.3 viser isopleths-plottet gode resultater. Som en ser av figur 5.9 ligger plottet lenger mot høyre, altså nærmere den kritiske grensen. LIM 2 overskrides derimot aldri. På tross av at dette er mindre aktuelt for nybygg, gir dette en god verifisering av resultatene for ovennevnte fukttilskudd. Resultatene kan også tenkes å være dimensjonerende fukttilskudd, om enn mindre realistiske.

(Geving, Holme and Jenssen 2007) omtaler middels fukttilskudd som aktuelt for stuer eller rom med middels til høyt antall personer (<math>50\text{m}^2/\text{pers}</math>). Høyt fukttilskudd ansees som aktuelt for vaske- eller tørkerom. En må likevel se dette i kontekst med den aktuelle situasjonen. Dagens nye leiligheter er ofte små og meget lufttette, ventilasjonen er god og ofte bedre enn nødvendig fordi moderne ventilasjonsanlegg er meget effektive (Mangor-Jensen 2012).

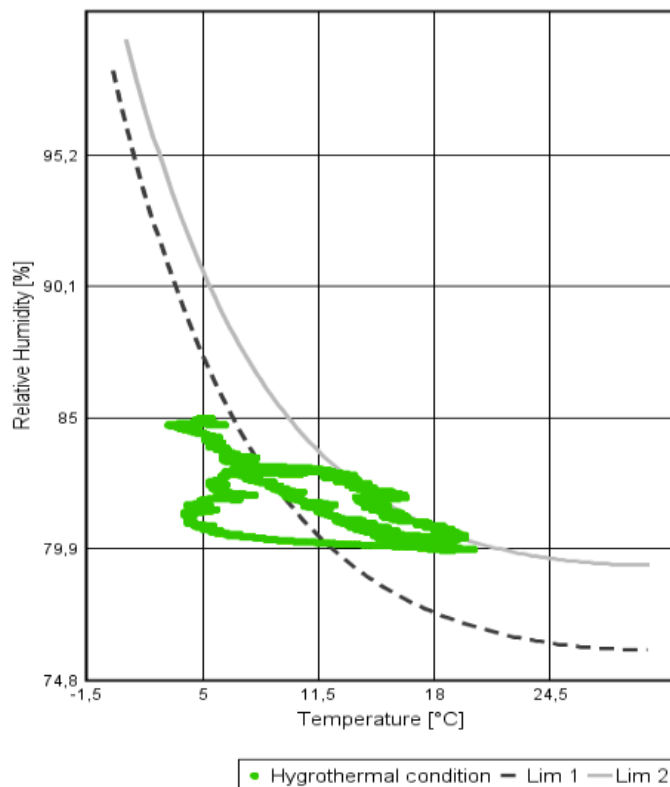
### Isopleths



Figur 5.9 Isopleths for alternativ isolasjons plassering, fukttilskudd = "Medium" ihht figur 5.3

Resultatene fra simuleringer med det (Geving, Holme and Jenssen 2007) klassifiserer som høyt fukttilskudd viser forholdsvis positive resultater. Figur 5.10 viser at plottet tidvis ligger på og over grenseverdi LIM 2. Felles for de to simuleringene med høyest fukttilskudd er at de begge flytter plottet mot høyre. De er fullstendig uaktuelle med tanke på organisk materiale i gulvet.

### Isopleths



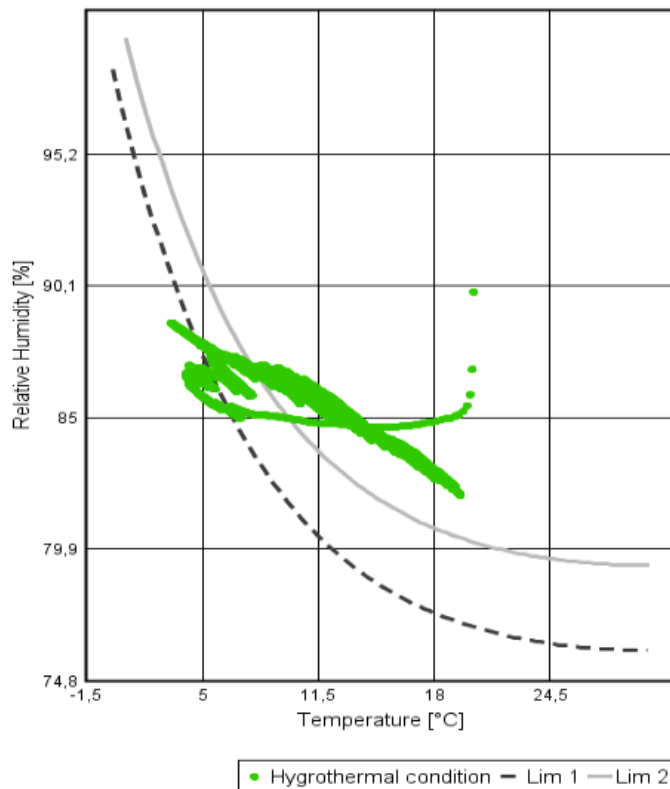
**Figur 5.10 Isopleths for all isolasjon i talfarergulv, fukttilskudd= "High" ihht figur 5.3**

En ser ut i fra disse tre simuleringene at fukttilskuddet i innelufta har stor betydning, men enda viktigere at isolasjonsplasseringen ved realistiske forhold ikke er utsatt for muggvekst ved de forutsetninger som er gjort under simuleringene. For å videre vurdere faren for muggvekst ved høyt fukttilskudd, anbefales å benytte (Nilsson 2009) og 52 punkter opp mot hver av de tre eksponeringsgradene for å vurdere hvor vidt det faktisk er risiko for muggvekst.



For å undersøke konsekvensene av høyere RF-nivå i betongen, er det gjort simuleringer med 90% RF i betongen ved simuleringens start. Dette er som nevnt tidligere en maksimal grense for isolasjon mellom tilfarere (Byggforsk 2009). Simuleringen er gjennomført med fukttilskudd *low* i henhold til figur 5.3, altså de beste forutsetninger for gode resultater. Resultatene støtter opp under Byggforsks anbefaling. Ser en på figur 5.11, er det helt tydelig at plottet tilsier at løsningen ikke er sikker med tanke på muggvekst. For å studere dette nøyere må en se på figur 5.12.

### Isopleths



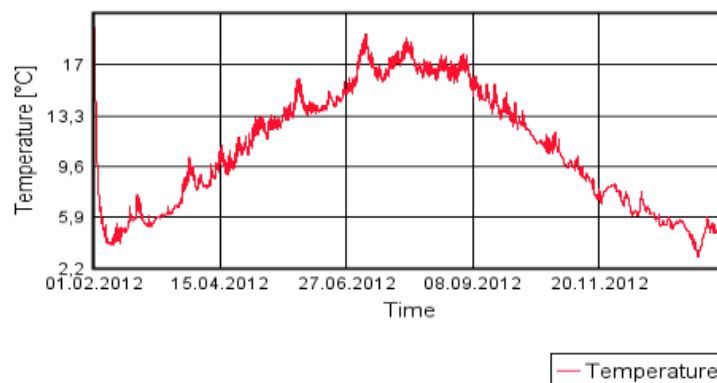
Figur 5.11 Isopleths for all isolasjon i tilfareregul 90% RF betong, fukttilskudd="Low" ihht figur 5.3

Fra figur 5.12 kan en tydelig se at uttørkingen av konstruksjonen ikke går som ønsket i løpet av det første året. Sammenligner en med figur 5.8, som viser RF- og temperaturforløp ved de samme forutsetningene med unntak av RF i betong ved start, kan en se at denne økningen i RF skaper store problemer. RF-nivået holder seg høyere over sommeren og skaper store problemer når temperaturen igjen synker i oktober/november. En kan derfor trygt si at en bør følge Byggforsks anbefaling om å holde RF-nivået under 90%, og helst ned mot 80%, selv om en ikke benytter dampsperre over isolasjonen.

### Relative Humidity



### Temperature



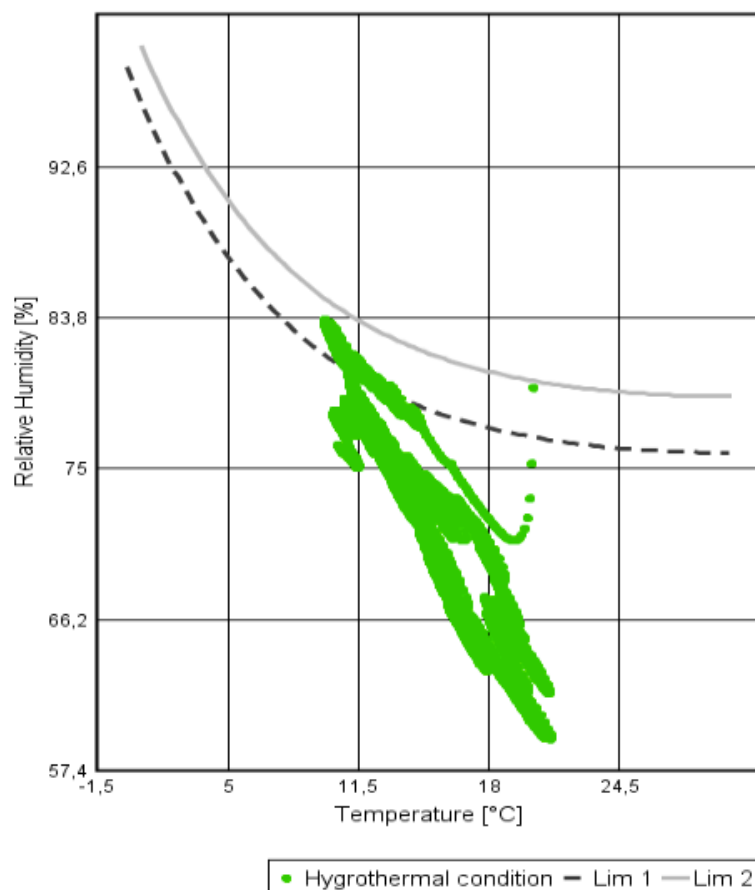
**Figur 5.12 RF- og temperaturforløp, all isolasjon i tilfarergulv 90% RF i betong, fukttilskudd= "Low" ihht figur 5.3**

### Anbefalt isolasjonsplassering

Skanskas opprinnelige løsning for å imøtekomme isolasjonskravet er i henhold til anbefalinger i Byggforskblad 522.362 (Byggforsk 2009), med all nødvendig isolasjon under betongdekket. Det er vist at å legge all isolasjon mellom tilfarterne er en trygg løsning, likevel presenteres tilsvarende resultater fra simulering med anbefalt isolasjonsplassering. Dette gjøres som en referanse, sammenligning i forhold til Sintef Byggforsks anbefalinger og for å tilfredsstille Skanskas ønske om dokumentasjon på løsningen. Det er kun benyttet fukttilskudd tilsvarende *low* i henhold til figur 5.3 ved simuleringer med denne løsningen.

Som en ser fra isopleths-plottet i figur 5.13, ligger punktene mye lenger unna grenseverdi LIM 2. Enkelte punkter ligger over LIM 1, men uten videre studie kan en ikke si at dette er en risikofylt løsning med tanke på biologiske materialer. Anbefalingene i (Byggforsk 2009) bekreftes også av forsøket. Ved å plassere isolasjon mellom tilfarterne øker risikoen for muggvekst, spesielt med tanke på organiske materialer.

### Isopleths



Figur 5.13 Isopleths for anbefalt isolasjonsplassering, fukttilskudd="Low" ihht figur 5.3

Ser en på temperatur- og RF-forløpet for løsningen, presentert i figur 5.14, ser en også en tydelig tryggere løsning. Sintefs anbefaling om å unngå RF på 80% eller mer i (Byggforsk 1999) overstiges bare til å begynne med, men dette har sammenheng med at betongen ikke har tørket ut skikkelig, og en får dermed omfordeling av byggfukt. RF i betongen er på 80% ved simuleringens start, mindre enn anbefalte 90% gitt i (Byggforsk 2009).

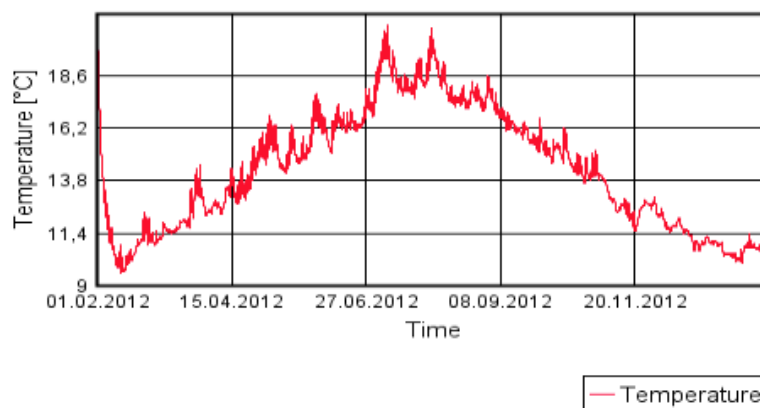
Følger en Sintef Byggforsks krav, kan en derfor si at konstruksjonen er utenfor risiko for muggvekst. Om en sammenligner resultatene fra med metoden (Sedlbauer, et al. 2001) i WUFI, ser en at punktene over LIM 1, samsvarer med den første perioden over RF 80%. Ser en dette i sammenheng med tilsvarende grenseverdier i (Nilsson 2009) eller lignende, vil linjene for lang eksponeringstid ligge betraktelig høyere. En kan dermed si at konstruksjonen tørker ut over hele året med unntak av den første måneden, og er sikker med tanke på muggvekst.

Om ferdigstillingstidspunktet settes til sommerperioder eller på våren, vil problemet med omfordeling av byggfukt bli betraktelig mindre.

### Relative Humidity



### Temperature



Figur 5.14 RF- og temperaturforløp, alternativ isolasjons plassering og høy ventilasjonsgrad

## 5.2 Kuldebrovurderinger

Følgende kapittel er en presentasjon av termisk vurdering av konstruksjonen. Programmet THERM er benyttet for å gjennomføre disse simuleringene. Programmet beregner kun temperaturforløp i konstruksjonen, men gir en bedre presentasjon av dette enn WUFI. Det viste seg også å være lettere å inkludere tynne sjikt i THERM enn i WUFI. Temperaturforløpet vil derfor være mer realistisk.

THERM er et program utviklet ved Lawrence Berkeley National Laboratory, og hadde som opprinnelig hensikt å beregne U-verdi for vinduer. Programmet er et todimensjonalt varmetransportprogram basert på den endelige elementmetoden. På tross av at preogrammet opprinnelige intensjonen var vurdering av vinduer, fungerer også programmet godt på større og sammensatt konstruksjoner. Materialdatabasen er dog noe begrenset som følge av dette (LBNL 2012).

### 5.2.1 Forutsetninger

Enkelte forenklinger er gjort med tanke på geometri og klimagrenser.

#### Geometri

Dampsperrer er neglisjert, da disse har en minimal varmemotstand. Bunnsviller i stål er neglisjert, da disse viste seg å ikke ha noen påvirkning på temperaturforløpet i konstruksjonen. Videre er finmasser og drenerende masser neglisjert, av samme grunn som for fuktsimuleringer. Disse vil ha tilnærmet samme temperatur som utelufta.

I tråd med Skanskas anbefalinger er varmemotstandsverdien for mineralull satt til  $0,035\text{W/mK}$  (Mangor-Jensen 2012).

#### Overflater/klima

For å vurdere de mest kritiske periodene for muggvekst, samt bedre se de faktiske kuldebrovirkningene, er det valgt en temperatur på  $5^{\circ}\text{C}$  i garasjen.

Utvendige flater er valgt til programmets innebygde funksjon *NFRC 100-2010 Exterior*. Denne funksjonen er anbefalt brukt i utviklers manualer, og innebærer at overflaten utsettes for en vind med hastighet  $5,5\text{m/s}$ . Dette tilsvarer en film med U-verdi  $26\text{W/m}^2\text{K}$  (LBNL 2011).

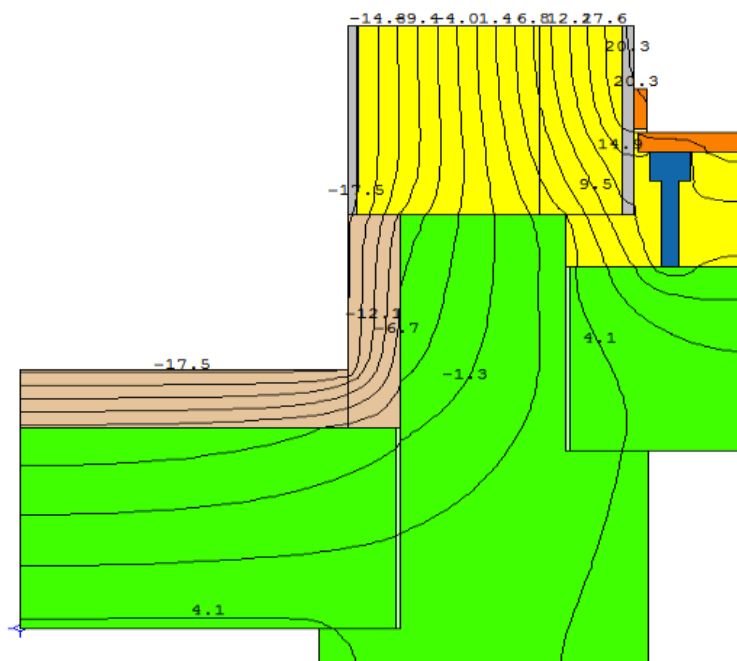
Innvendig temperatur er satt til  $20^{\circ}\text{C}$ .

Øvrige overflater er satt til adiabatisk grense.

## 5.2.2 Resultater

### All isolasjon i tilfarergulv

Det ble i første omgang, som var tilfellet for WUFI-simuleringer, sett på den alternative isolasjonsplasseringen med isolasjon mellom tilfarere. I figur 5.15 er det presentert ulike temperaturer i konstruksjonen som isolinjer.



Figur 5.15 Temperaturer i konstruksjonen som isolinjer, alternativ isolasjonsplassering

Ved å sammenligne temperaturene i det aktuelle snittet med resultatene i WUFI, kan en etterprøve resultatene fra fuktvurderingen. Resultatene i THERM viser at temperaturen ligger på om lag 3,8°C. Temperaturen fra tilsvarende periode i WUFI viser en temperatur på 3,85°C. Dette stemmer godt overens, og resultatene fra WUFI fremstår som troverdige.

THERM oppgir en U-verdi på konstruksjonen (langs total lengde) på  $0,1122\text{W/m}^2\text{K}$  og en total differanse i temperatur på  $39,1^\circ\text{C}$ . Feilmarginen angis til  $7,14\%$ . En mer grafisk fremstilling av kuldebrovirkninger er vist i figur 5.16.

For å beregne normalisert kuldebro langs konstruksjonen benyttes formel fra Sintef Byggforsks Prosjektrapport 25 (Gustavsen, Thue, et al. 2008):

$$U = U_0 + U_{\Delta} \quad (12)$$

der

$U$  er total U-verdi,  $\text{W/m}^2\text{K}$

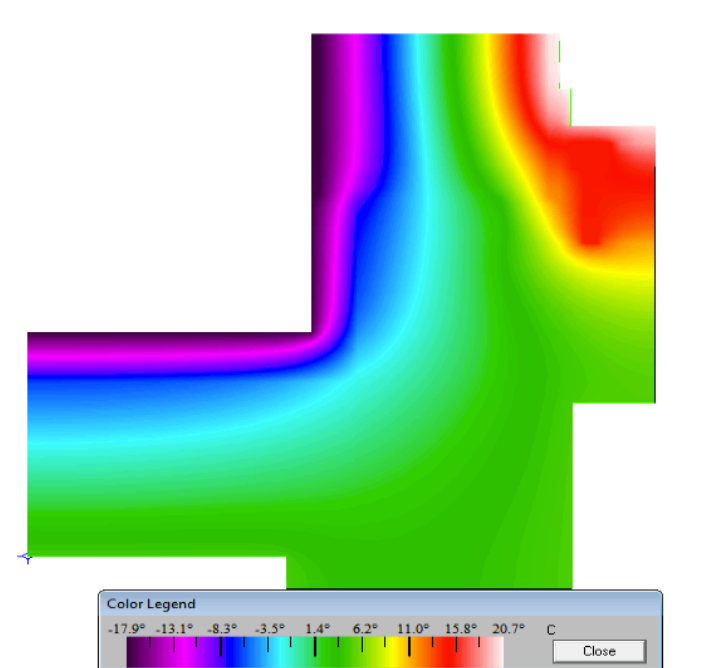
$U_0$  er konstruksjonens U-verdi uten kuldebrobidrag,  $\text{W/m}^2\text{K}$

$U_{\Delta}$  er kuldebroens samlede bidrag

$U_0$  beregnes til  $0,10851\text{W/m}^2\text{K}$ . Det samlede bidraget fra kuldebroene er da  $0,0037\text{W/m}^2\text{K}$ . Konstruksjonens lengde er  $0,995\text{m}$ . Ved å benytte ligning (13) og (14) ser en at lineær kuldebroverdi  $\Psi$  er  $0,0037\text{W/mK}$ , om en antar at punktkuldebroene  $X$  er 0.  $A$  er konstruksjonsdelens areal,  $A = 1 \cdot l_k \text{m}^2$ .

$$U_{\Delta} = \frac{\sum_k \Psi_k \cdot l_k + \sum_i X_k}{A} \quad (13)$$

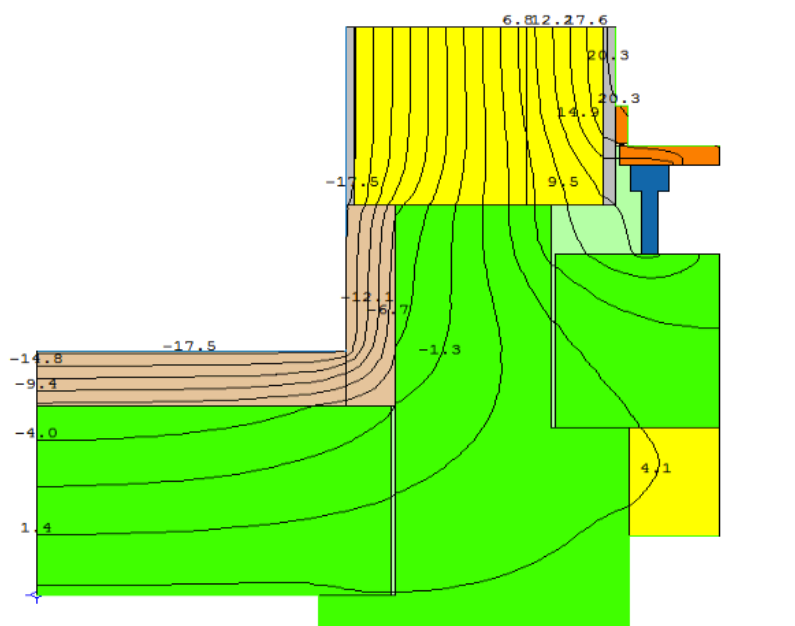
$$\Psi_k = \frac{U_{\Delta} A}{l_k} \quad (14)$$



Figur 5.16 Grafisk fremstilling av kuldebrovirkninger, alternativ isolasjonsplassering

### Anbefalt isolasjonsplassering

Som sammenligningsgrunnlag og etterprøving av resultater fra WUFI, er det også simulert den opprinnelig foreslåtte isolasjonsplasseringen i THERM. Som forventet ligger temperaturene i det kritiske punktet godt over det som er tilfellet for isolasjon mellom tilfarere. Temperaturforløpet kan sees som isolinjer i figur 5.17 under.



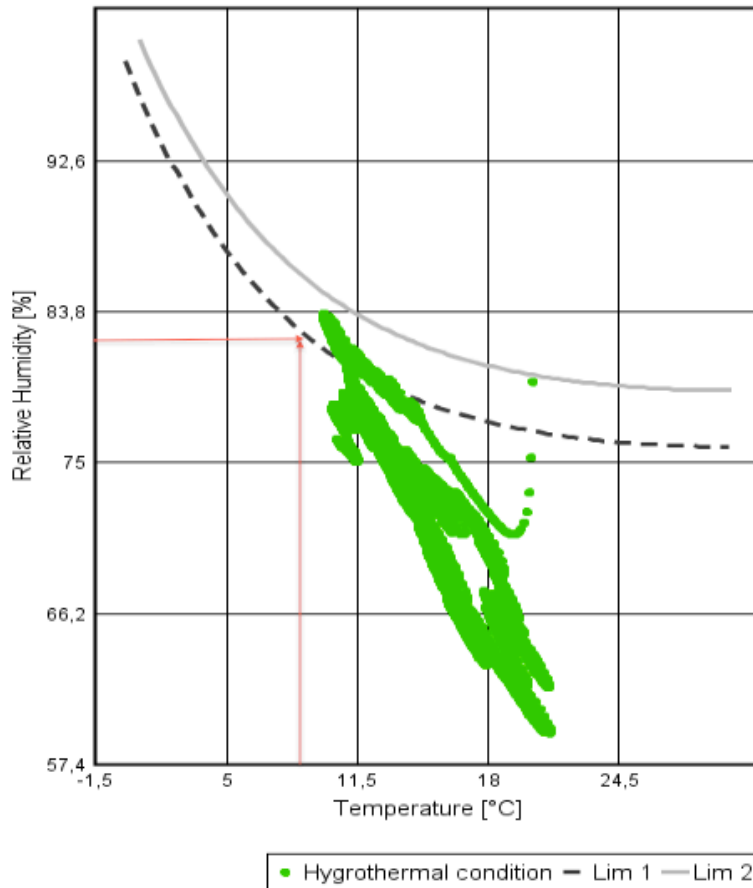
**Figur 5.17** Temperaturer i konstruksjonen som isolinjer, standard isolasjonsplassering

Om en sammenligner temperaturene fra de to programmene, er det en tydeligere forskjell sammenlignet med tidligere presenterte resultater. WUFI viser en temperatur på ca. 9°C og RF på 78%. Som en ser fra figur 5.17, viser THERM en temperatur på om lag 8,15°C. Det er derfor ønsket å etterprøve faren for muggvekst.



Ved å benytte tabeller for metningspunkt ved ulike temperatur i (Geving and Thue 2002), er RF ved ny temperatur beregnet. Ved 78% RF og 9°C har luften et vanninnhold på 6,87 g/m<sup>3</sup>. Metningspunktet ved 8,15°C er 8,35g/m<sup>3</sup>. Ved 8,15°C blir da RF på 82%. Punktet er plottet inn i figur 5.18 under, og en ser at dette ikke skaper noen fare for muggvekst sammenlignet med LIM2. Punktet ligger under LIM1, dog noe nært. Det bør likevel ikke være betydelig økt fare for muggvekst, da det er punktene som allerede ligger over som flyttes mot venstre grunnet lavere temperatur.

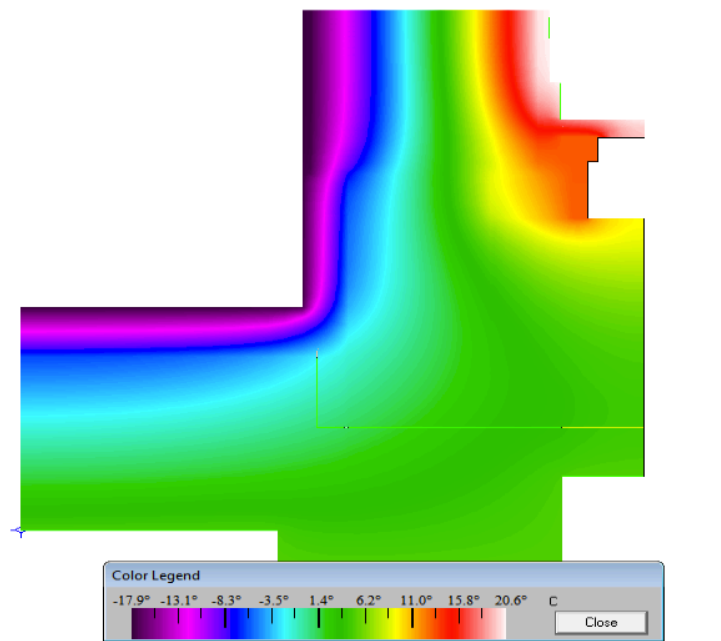
### Isopleths



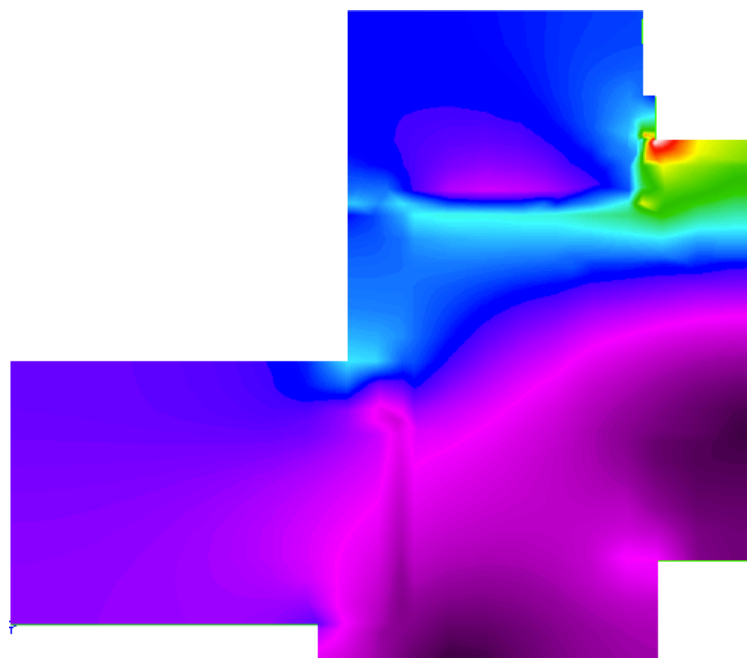
Figur 5.18 Sammenligning mellom WUFI og THERM

Den totale U-verdien oppgis til 0,1194W/m<sup>2</sup>K med  $\Delta T=39,1^{\circ}\text{C}$ , altså en høyere U-verdi enn for den første isolasjonsplasseringen. Feilmarginen oppgis til 7,5%. Ser en på de grafiske fremstillingene i figur 5.16 og figur 5.19, ser en at det røde området i forlengelsen av tilfarersystemet strekker seg lenger uten isolasjon. Dette fører til en større andel av varmen inne transporteres ut. En ser også tydelig at betongen transporterer varme ut av konstruksjonen. Ved å isolere over betongdekket hindrer en større andel av varmen i å nå betongen. Dette er illustrert i figur 5.20, som viser hvor varmestrømmen er størst, der en tydelig ser stor varmestrøm langs betongdekket gjennom sofadrageren. Tilfareren er fjernet fra modellen, da denne forstyrrer illustrasjonen.

Beregnet  $U_o$  er  $0,1156\text{W/m}^2\text{K}$ . Ved å benytte ligning (12) blir kuldebroenes samlede bidrag  $U_{\Delta}=0,0038\text{W/m}^2\text{K}$ , som ved å benytte ligning (14) gir  $\Psi=0,038\text{W/mK}$ . Dette er marginalt høyere enn for løsning med all isolasjon i tilfarergulvet. Årsaken til dette ligger i den forbedrede U-verdien. En kuldebro beskriver endring i varmemotstanden. Endringen i varmemotstand er meget lik, men den totale varmemotstanden i konstruksjonen forbedres ved å legge isolasjonen over betongen. Dette vises også i kapittel 5.2.3.



Figur 5.19 Grafisk fremstilling av kuldebrovirkninger, Standard isolasjonsplassering

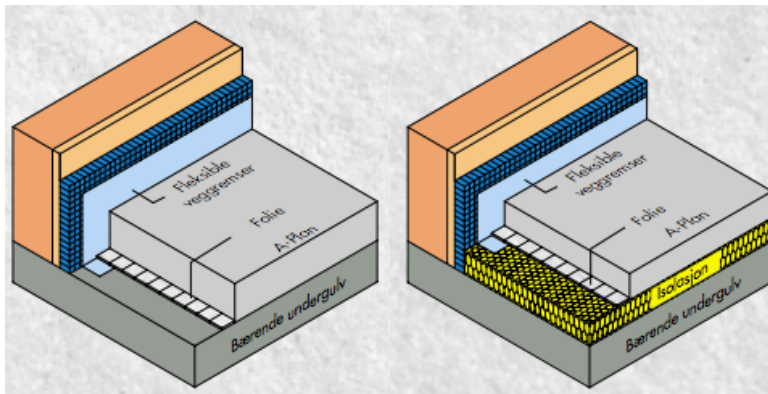


Figur 5.20 Illustrasjon av varmeflux, standard isolasjonsplassering

### 5.2.3 Videre undersøkelser

Det er foretatt ytterligere kuldebrovurderinger i THERM for alternative gulvløsninger over garasjen. Betongdekket er beholdt, men alternativer til systemgulv er vurdert. Hensikten er å vurdere total U-verdi ved ulike, alternative isolasjonsplasseringer og utforminger av gulvkonstruksjon. Det vurderes også hvor vidt det er nødvendig eller hensiktsmessig med isolasjon av sofadrageren.

Alternativene bygger på et A-plan-gulv med samme høyde som systemgulvet. Dette er et vanlig alternativ til systemgulv i Skanska (Mangor-Jensen 2012). Et A-plan flytegulv kan utformes på ulike måter med og uten isolasjon, men felles for løsningene er påstøpen. Prinsipiell oppbygging av A-plan flytegulv er vist i figur 5.21 under. Som alternativ til påstøp av betong benyttes en flytende, selvutjevnevende masse med calciumsulfat i stedet for sement som bindemiddel. Massen kalles også gipsgulv (AkerByggteknikk 2012). For alle alternativene er det benyttet en påstøp på 30mm med varmeledningsevne  $1,87\text{W/mK}$  i tråd med (AkerByggteknikk 2012). Øvrige materialer og forutsetninger er som for tidligere simuleringer.



Figur 5.21 Prinsipiell oppbygging av A-plan med og uten isolasjon under påstøp (AkerByggteknikk 2012)

Det første alternativet, alternativ 1, omfatter 170mm isolasjon under påstøp og 30mm under betongdekket. 200mm isolasjon er nødvendig for å oppnå krav til U-verdi mot grunnen (Mangor-Jensen 2012). Det er også vurdert isolasjon på sofadrageren, alternativ 2, tykkelse 50mm og høyde 200mm. Ved å legge 170mm isolasjon på oversiden oppnår en samme gulv nivå som ved å benytte systemgulv.

Alternativ 3 og 4 innebærer å fordele isolasjonen likt over og under betongdekket, altså 100mm på hver side. Det er også gjort undersøkelser med 50mm tykk og 200mm høy isolasjon av sofadrager (alternativ 4).

De siste undersøkelsene ble gjennomført ved å plassere all isolasjon under betongdekket. Påstøpen på 30mm ble beholdt. I tillegg til tilsvarende isolering av sofadrager som for tidligere undersøkelser, ble det også undersøkt konsekvensene av å isolere sofadrager med en tykkelse på 100mm. Det er også gjennomført en simulering uten isolasjon av sofadrager, men med en kuldebrobryter mellom betongdekket og sofadrager.

I tabellen under vises resultatene av undersøkelsene. Illustrasjoner fra THERM for isolinjer og grafisk fremstilling av temperaturforløp kan sees i vedlegg 4.

Alternativ	Iso. over betong [mm]	Iso. under betong [mm]	Iso. sofadrager, bxh [mm]	U-verdi [W/m <sup>2</sup> K]
1	170	30	0	0,1092
2	170	30	50x200	0,1079
3	100	100	0	0,1159
4	100	100	50x200	0,1152
5	0	200	0	0,1275
6	0	200	50x200	0,1273
7	0	200	100x200	0,1273
8	0	200	0	0,1174

**Tabell 5.2 Egenskaper for ulike simulerte dekkekonstruksjoner samt resulterende U-verdi**

Det er presentert total U-verdi for den totale lengden av konstruksjonen, da isolasjonsmengden er tilstrekkelig for å oppnå U-verdikravene for bygningsdeler. Det interessante er da hvor mye energi en kan spare ved å plassere isolasjonen best mulig. Det er ikke foretatt grundige fukttekniske undersøkelser av disse alternative utformingene av dekkekonstruksjonen, men generelt kan en si at lavere temperaturer vil gi høyere RF og dermed større fare for muggvekst så fremt temperaturen holdes over 5°C.

En ser raskt fra resultatene presentert i tabell 5.2 at å isolere sofadrageren ikke gir spesielt stor gevinst i forhold til energitap. Den største forbedringen er mellom alternativ 1 og 2, samt mellom alternativ 5 og 8. Disse er på henholdsvis 0,0013W/m<sup>2</sup>K, noe som er helt marginalt, og 0,0101W/m<sup>2</sup>K. Ser en på forbedringen mellom alternativene 3 og 4 og 5 og 6, er forbedringen på henholdsvis 0,0007W/m<sup>2</sup>K og 0,0002W/m<sup>2</sup>K. Ved å isolere sofadrageren med dobbel tykkelse, er det ingen endring mellom U-verdiene for alternativ 6 og 7.

De samme tendensene som de tidligere forsøkene er også helt tydelige her. Mer isolasjon på oversiden av betongdekket gir et mindre varmetap, og det er helt tydelig at det er en gevinst å hente på å plassere isolasjonen over.

Har en ikke mulighet til å benyttet et oppforet gulv, kan det være aktuelt å benytte en kuldebryter mellom betongdekket og sofadrager. Dette er gjennomført og kalt alternativ 8. 200mm isolasjon er plassert under betongdekket, og 50mm isolasjon som kuldebryter samt fylt luftrommet mellom sofadrager og gulv med isolasjon. En ser fra tabell 5.2 at denne løsningen har om lag samme effekt som å fordele isolasjonen likt med 100mm på hver side av betongdekket.

## 6 Energiberegninger

Dette kapittelet er en presentasjon av energiberegninger foretatt i Simien. Først og fremst er dette en undersøkelse av hvor vidt isolasjonsmengden Skanska benytter i garasjekjellere, er tilstrekkelig for å oppfylle deres egne varmetapskrav. Som nevnt er normal praksis å isolere etter oppvarmingsgrad, og dermed ha et like stort eller mindre varmetap som dersom garasjen var fullt oppvarmet og fullt isolert.

Programmet benyttet til å foreta energiberegninger er Simien. Simien er utviklet av ProgramByggerne, et norsk firma med base i Kongsberg. Programmet bygger på dynamiske beregningsmetoder beskrevet i NS3031 (ProgramByggerne u.d.). Simien kan foreta seks ulike simuleringstyper: Dimensjonerende vinterforhold, dimensjonerende sommerforhold, årssimulering, evaluering mot forskrifter (TEK 07/TEK 10), energimerking og passivhus/lavenergi.

### 6.1 Forutsetninger

Simuleringene er basert på informasjonen Skanska fremskaffet angående Frydenberg Park-prosjektet. Enkelte forenklinger er gjort, spesielt i forhold til geometri og utforming. Dette for at resultatene skal foreligge på et generelt grunnlag, og dermed benyttes som generelle anbefalinger.

#### 6.1.1 Geometri

Det er benyttet kun én etasje over garasjen, da det er garasjen som skal vurderes. Prosjektet er satt til bygningskategori *Boligblokker* med tre boenheter i etasjen.

Boligen er bestemt rektangulær med sider 20m og 10m, plassert i garasjens ene ende. Takhøyde er satt til 2,4m. Garasjen er bestemt kvadratisk med fire 20m lange vegger. Det er altså like store areal,  $200\text{m}^2$ , som grenser mot bolig og grunn over garasjen. Garasjens takhøyde er satt til 3m. Bolig og garasje er simulert som to individuelle soner. Det er satt inn 12 vinduer i første etasje. Tre vinduer på nordlig og østlig fasade, og fire vinduer på vestlig og sørlig fasade. Disse er 1,2m brede og 1,8m høye inkludert ramme. Rammen utgjør 20% arealandel av dette.

Vegg- og takkonstruksjonene i bolig er mindre interessante, men er satt til hhv. 36mm bindingsverk med 250mm isolasjon og 200-250mm betong med 250mm isolasjon. Veggene i garasjen består av 230mm betongvegger med 50mm isolasjon. Dekke mot grunn er bygd opp av 320mm hulldekker med 50mm isolasjon.

#### 6.1.2. Oppvarming

Oppvarming er for enkelhets skyld satt til utelukkende elektrisk. Dette påvirker kun  $\text{CO}_2$ -budsjett og energimerking, og har ingen påvirkning på varmetap. I boligen følger oppvarming Simiens anbefalinger. Driftsstrategien innebærer en settpunkttemperatur på 21 og  $19^\circ\text{C}$ , henholdsvis i og utenfor driftstiden.

I garasjen benyttes det aerovarmer som oppvarming. I simuleringen er denne satt til elektrisk, men den kan drives av fjernvarme dersom dette er tilgjengelig i området. Maksimal avgitt effekt er satt til  $30\text{W}/\text{m}^2$  som tilsvarer 12kW ved gitt gulvareal på  $400\text{m}^2$ . Settpunkttemperatur er satt til  $5^\circ\text{C}$  i og utenfor driftstiden.

### 6.1.3 Ventilasjon

Luftmengder er bestemt fra (Direktoratet for Byggkvalitet 2011). I boligen er det valgt balansert ventilasjon i et CAV-system, med luftmengder i og utenfor driftstiden på 1,20 og 0,70m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> som gitt i veiledning til TEK10. SFP-faktor er 2,5kW/m<sup>3</sup>/s som gitt i ( Kommunal- og regionaldepartementet 2012).

Tilluftstemperatur er satt til 19°C, og varmegjenvinneren har en temperaturvirkningsgrad på 70%.

I garasjen er det valgt et VAV-system med minimum og maksimum luftmengde i driftstiden på 3 og 6m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>. VAV-anlegget er satt til å holde CO<sub>2</sub>-nivået under 800ppm. TEK 10 angir dette som minimum tilluftsmengde for hhv. langtids- og korttidsparkering i garasjekjellere ( Kommunal- og regionaldepartementet 2012). Utenfor driftstiden er luftmengder satt til 3m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>. Normal tilluftstemperatur er satt til 10°C, tilluftstemperatur er satt til 15°C i sommermånedene fra mai til august.

I garasjens ventilasjonsanlegg er det intet varmebatteri, ei heller kjølebatteri. Aerovarmeren tar seg av all oppvarming av luften i garasjen. Tilluftsviften er derfor satt før varmegjenvinner. Varmegjenvinneren har en temperaturvirkningsgrad på 60%. I garasjer må det være undertrykk for å unngå at forurensning siger inn i andre rom som trapperom, og for å hindre forurensninger i å nå boligene over. Temperaturvirkningsgraden på varmegjenvinneren kan derfor være noe feil.

### 6.1.4 Internlaster

Internlaster i garasjen er neglisjert. Dette skyldes utfordringer knyttet til beregning som diskutert i kapittel 3.3. Internlaster i boligen er bestemt etter (Standard Norge 3031 2007). Disse verdiene kan som nevnt leses av i tabell A.2. Belysning gir et varmetilskudd på 2,9W/m<sup>2</sup>, teknisk utstyr 2,4W/m<sup>2</sup>, tappevann 0W/m<sup>2</sup> og personer 1,5W/m<sup>2</sup>.

## 6.2 Resultater

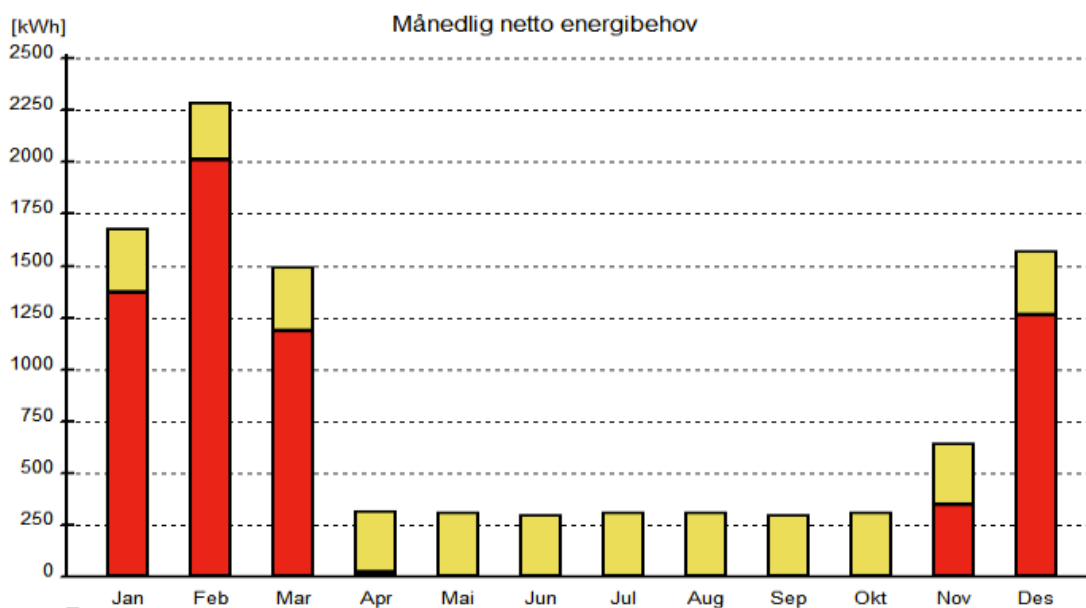
### 6.2.1 Delvis oppvarmet garasjetilfelle

Totalt netto energibehov skal ikke overstige 115kWh/m<sup>2</sup> BRA for boligblokker (Kommunal- og regionaldepartementet 2012). Som en ser fra figur 6.1 er dette oppnådd for boligen, og ligger på 92,6kWh/m<sup>2</sup>. Garasjen er ikke en del av BRA, og skal ikke inkluderes. Om en ønsker å inkludere garasjen i BRA må en som nevnt regne som om det er full oppvarming av garasjen. Følgende resultater er hentet fra årssimulering i Simien.

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	9228 kWh	46,1 kWh/m <sup>2</sup>	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1638 kWh	8,2 kWh/m <sup>2</sup>	
2 Varmtvann (tappevann)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
3a Vifter	1460 kWh	7,3 kWh/m <sup>2</sup>	
3b Pumper	7 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
4 Belysning	3387 kWh	16,9 kWh/m <sup>2</sup>	
5 Teknisk utstyr	2803 kWh	14,0 kWh/m <sup>2</sup>	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	18524 kWh	92,6 kWh/m <sup>2</sup>	

Figur 6.1 Energibudsjett BRA, årssimulering

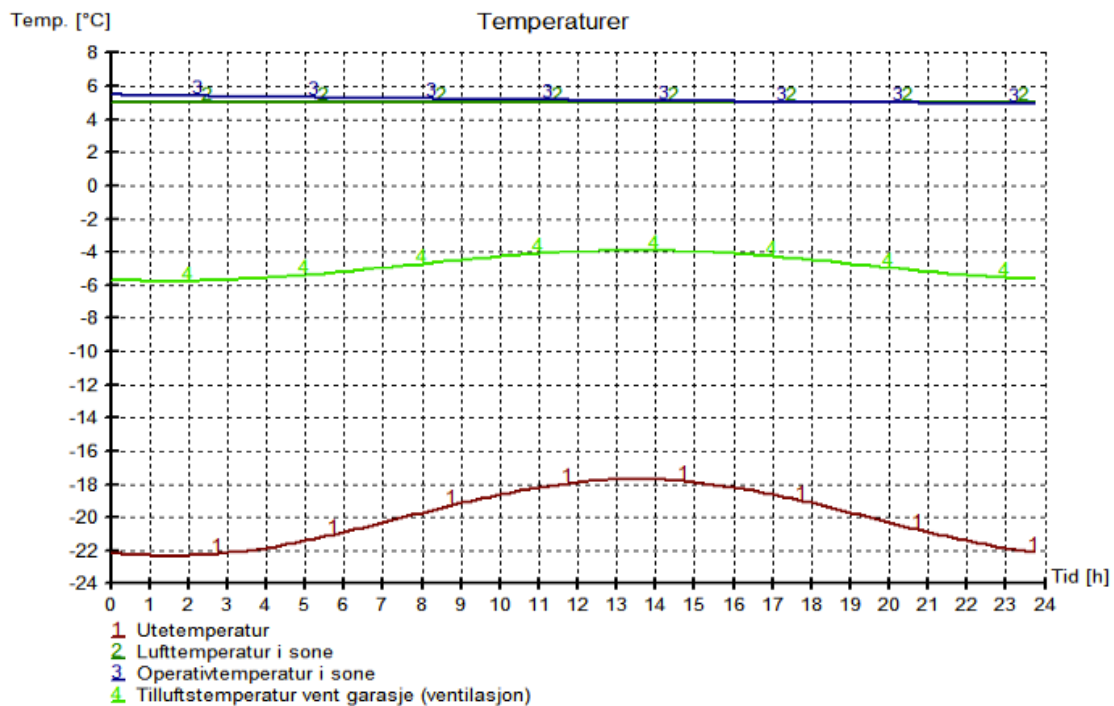
Figur 6.2 under viser månedlig netto energibehov i garasjen. En ser at det er stort behov for romoppvarming fra desember til mars, samt noe i november. Øvrige måneder har lite eller intet behov for romoppvarming.



Figur 6.2 Månedlig netto energibehov i garasje, årssimulering

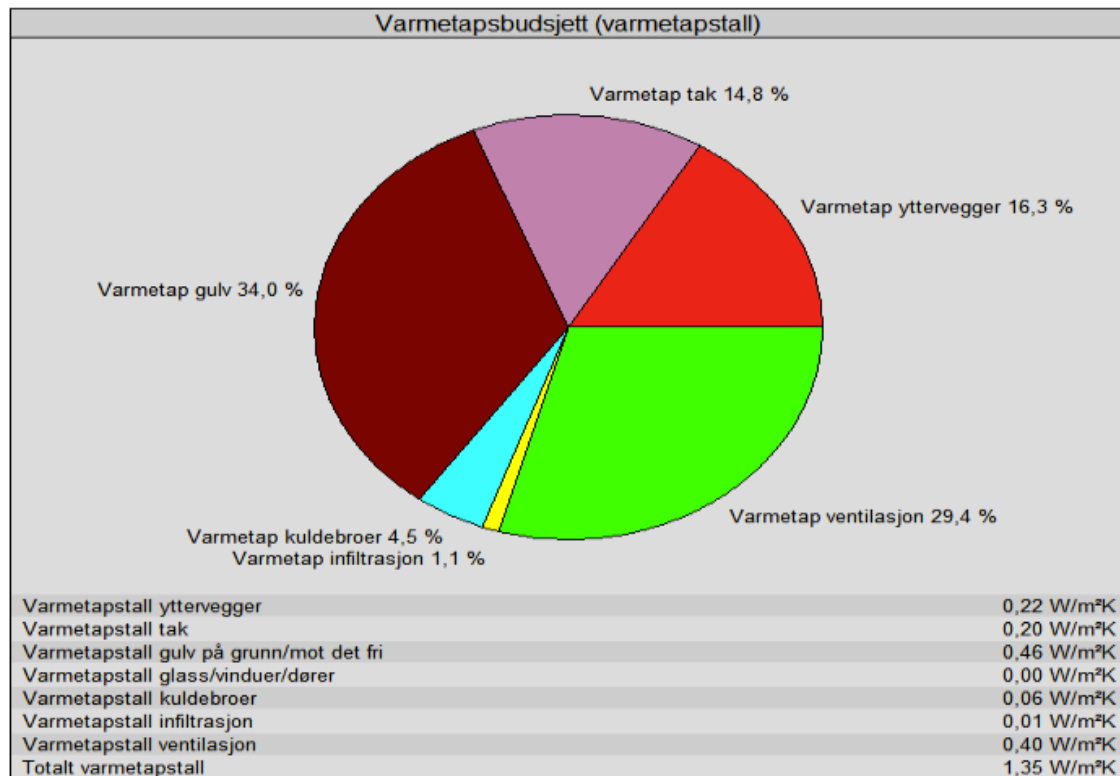


Det neste interessante spørsmålet å vurdere er hvor vidt oppvarmingseffekten er stor nok. Total maksimal effekt er som nevnt 12kW, eller 30W/m<sup>2</sup>. I figur 6.3 er det vist temperaturforløp i kjelleren. Resultatene er skaffet gjennom vintersimulering i Simien. Det er simulert fem dager, noe som gir et representativt resultat. Som en kan lese fra figuren er temperaturen, operativ og lufttemperatur, ca. 5°C selv ved utetemperaturer på -22°C. 12kW er altså tilstrekkelig for å varme opp garasjen til frostsikring. Dette medfører blant annet at vannrør ikke trenger å isoleres.



Figur 6.3 Temperaturforløp i garasje, vintersimulering

For å beregne varmetapet i kjelleren må en ha varmetapsbudsjettet for kjelleren. Dette sees i figur 6.4 under. Totalt varmetapstall er på  $1,35\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Varmetapet mot boligen over er ikke medregnet her, da dette beregnes som en samlet konstruksjon og inngår som varmetilskudd i boligsonen. Simien presenterer månedlige temperaturdata. For å beregne varmetapet kan en legge sammen månedlige middeltemperaturer ute og minimumstemperatur inne og multiplisere med varmetapstallet på  $1,35\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Totalt varmetap blir da på  $257,31\text{W}/\text{m}^2$ .

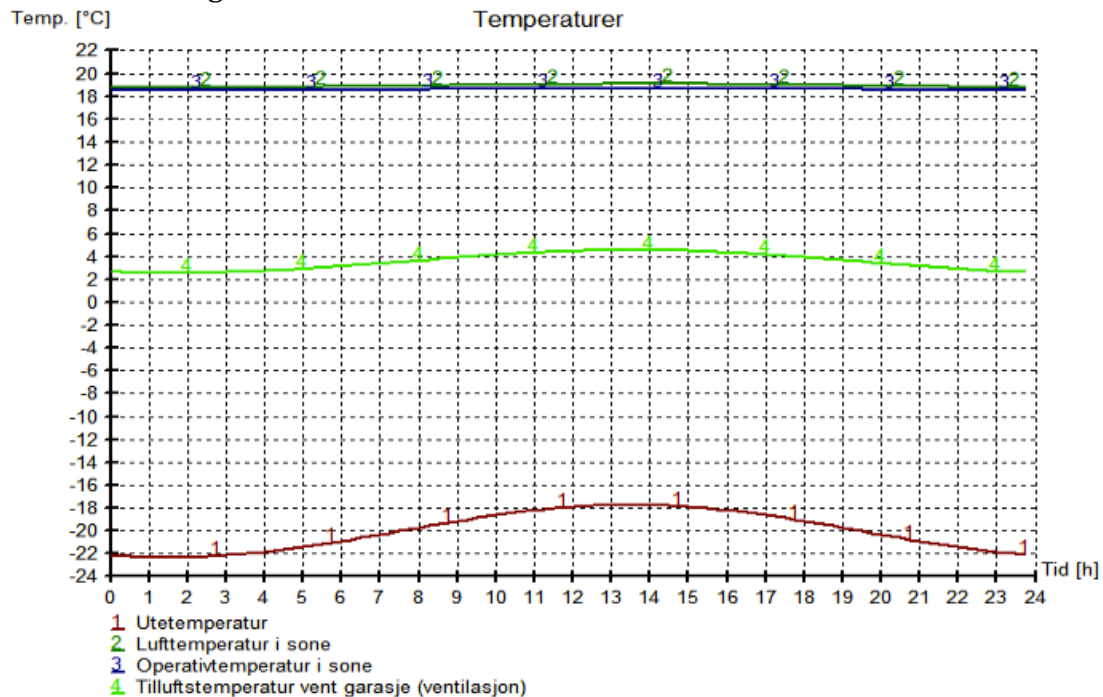


**Figur 6.4 Varmetapsbudsjett i kjeller, årssimulering**

### 6.2.2 Fullt oppvarmet garasjetilfelle

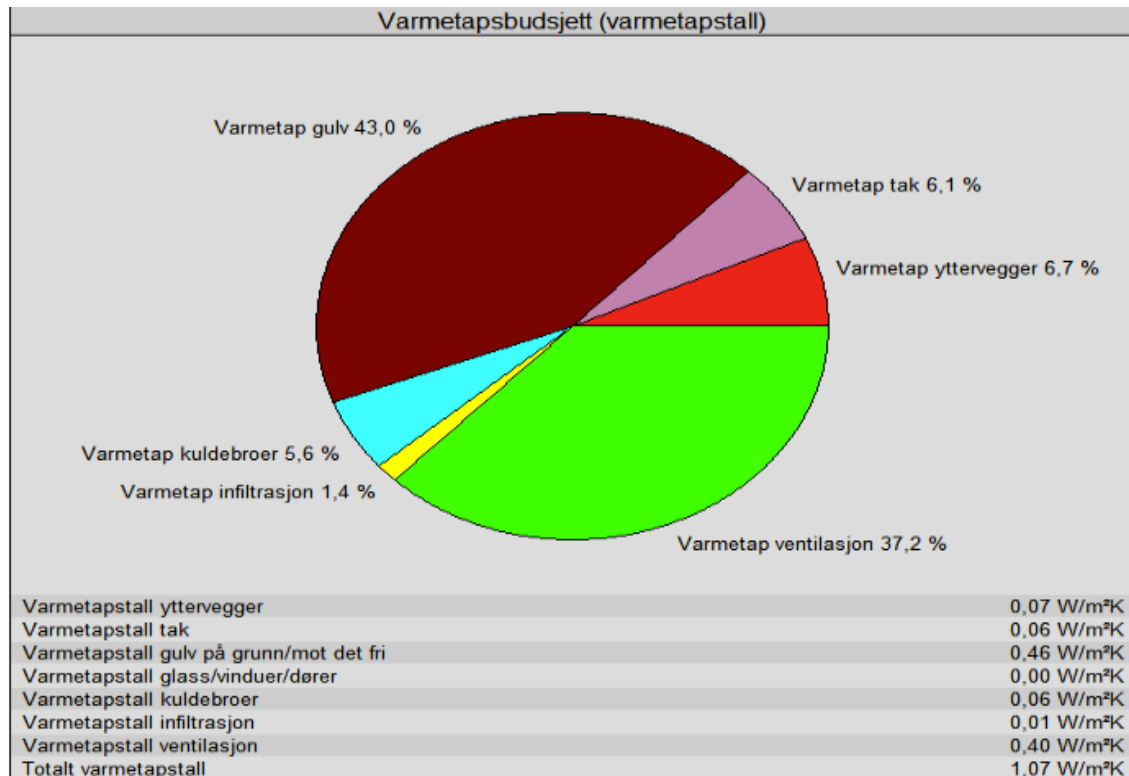
For å undersøke hvor vidt isolasjonsmengden i garasjen er tilfredsstillende eller ikke, er det foretatt ytterligere simuleringer. Det alternative tilfellet omfatter 200mm isolasjon i kjellerveggene og 250mm isolasjon i dekket. Dette kommer i tillegg til bærekonstruksjon i betong som ved tidligere simulering. Garasjen kan da også inkluderes som del av oppvarmet BRA. Settpunkttemperaturen i garasjen er endret til å tilsvare boligen, altså 21°C i og 19°C utenfor driftstiden.

Først og fremst er det viktig å se på temperaturforløpet i garasjen. Som en ser fra figur 6.5 under er 12kW maksimaleffekt tilstrekkelig til å holde temperaturen på 19°C. Denne bør derfor økes noe, men for denne simuleringens hensikt er dette tilstrekkelig. Simuleringen er foretatt på samme måte som tidligere vintersimulering.



Figur 6.5 Temperaturforløp i fullt oppvarmet garasje, vintersimulering

I figur 6.6 er varmetapsbudsjettet for en fullt isolert kjeller presentert. På samme måte som tidligere kan en regne ut det totale varmetapet. Av figuren kan en lese at totalt varmetapstall er på  $1,07\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Dette medfører et totalt varmetap på  $325,066\text{W}/\text{m}^2$ . Dette ligger høyere enn for en delvis oppvarmet kjeller med mindre isolasjon. Av dette kan en konkludere at isolasjonsmengden Skanska operer med er tilstrekkelig for å oppfylle kravet om å isolere etter oppvarmingsgrad.



**Figur 6.6 Varmetapsbudsjett i fullt oppvarmet kjeller, årssimulering**

### 6.3 Økonomiske vurderinger

Fra et privatøkonomisk aspekt er det interessant å vurdere ytterligere isolasjonsmengder i garasjen for å spare strøm, og dermed penger. Dette er vurdert i dette delkapittelet. Boligen har et netto energibehov under kravet. Behovet kan likevel forbedres, men oppgaven fokuserer på garasjekjellere.

#### 6.3.1 Energiberegninger

Garasjen har i utgangspunktet et totalt netto energibehov på 24,5kWh/m<sup>2</sup>, som vist i figur 6.7. Romoppvarming står for 15,4kWh/m<sup>2</sup> av dette. Energi til vifter er konstant for alle tilfeller. Potensiell forbedring av dette vurderes ved å isolere med 100mm i dekket samt 100mm i vegg, altså en dobling av isolasjonsmengden.

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	6157 kWh	15,4 kWh/m <sup>2</sup>	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
2 Varmtvann (tappevann)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
3a Vifter	3651 kWh	9,1 kWh/m <sup>2</sup>	
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
4 Belysning	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
5 Teknisk utstyr	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	9808 kWh	24,5 kWh/m <sup>2</sup>	

Figur 6.7 Energibudsjett garasje, årssimulering

Ved å isolere dekket mot terreng med ytterligere 50mm, totalt 100mm, blir netto energibehov for romoppvarming 13,7kWh/m<sup>2</sup>. Energibudsjettet er presentert i figur 6.8 under.

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	5487 kWh	13,7 kWh/m <sup>2</sup>	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
2 Varmtvann (tappevann)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
3a Vifter	3651 kWh	9,1 kWh/m <sup>2</sup>	
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
4 Belysning	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
5 Teknisk utstyr	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	9138 kWh	22,8 kWh/m <sup>2</sup>	

Figur 6.8 Energibudsjett garasje med økt isolasjon i dekke, årssimulering

Neste tilfelle undersøkt er å isolere både dekket og veggene med 100mm isolasjon. Dette medfører at netto energibehov for romoppvarming reduseres ytterligere til 12,8kWh/m<sup>2</sup>, som kan leses av energibudsjettet presentert i figur 6.9.

Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	5104 kWh	12,8 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	3651 kWh	9,1 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6	8755 kWh	21,9 kWh/m <sup>2</sup>

Figur 6.9 Energibudsjett garasje med økt isolasjon i dekke og vegger, årssimulering

### 6.3.2 Kostnadsundersøkelser

Disse verdiene kan nå brukes til å undersøke hvor vidt tiltakene er gunstig privatøkonomisk. For en utbygger som ikke er involvert i driften av bygget vil det alltid være gunstig å gjøre konstruksjonene enklest mulig, for å øke profitt ved salg.

Energiprisene er funnet gjennom Statistisk sentralbyrå. TEK 10 stiller krav om at 60% av varmebehovet dekkes av annet enn direkte elektrisitet og fossile brensler ( Kommunal- og regionaldepartementet 2012). Aerovarmere kan driftes av vannbåren fjernvarme, og det er derfor valgt at 60% av romoppvarmingsbehovet dekkes på denne måten. Kun 40% dekkes av direkte elektrisitet.

Strømprisene bygger på SSBs statistikk for strømpriser mellom 2003 og 2007, og antas å være et gjennomsnitt av disse (Statistisk sentralbyrå 2008). Prisene inkluderer alle avgifter. Valgt strømpris kommer da på 81,48 øre/kWh. Det antas at denne prisen holder seg i årene som kommer. Prisen på fjernvarme er beregnet på samme måte, SSBs priser mellom 2003 og 2010 (Statistisk sentralbyrå 2011). Prisene oppgitt er uten merverdiavgift på 25%, denne legges derfor på. Valgt pris for fjernvarme benyttet er 65 øre/kWh.

Økte kostnader for større mengde isolasjon er hentet fra HolteProsjekt Anbud. Programmet bygger på NS4320 *Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner* (Holte AS u.d.).

Totale utgifter til oppvarming av de tre ulike geometriene er presentert i tabell 6.1 under.

<i>Isolering vegg/dekke</i>	<i>Utgift</i>
50mm/50mm	4410kr
50mm/100mm	3923kr
100mm/100mm	3665kr

**Tabell 6.1 Utgifter til romoppvarming for aktuelle geometrier**

Videre undersøkes prisøkning ved ytterligere isolering. HolteProsjekt anslår følgende priser som vist i tabell 6.2. i tabellen er det også presentert kostnadsdifferanser og nedbetalingstid. En ser raskt at for det valgte eksempelet er det lang nedbetalingstid, som skyldes de lave strømkostnadene knyttet til den delvis oppvarmede garasjen. Det er også et viktig poeng å poengtere at fra april til oktober er det minimalt eller intet oppvarmingsbehov i den simulerte kjelleren.

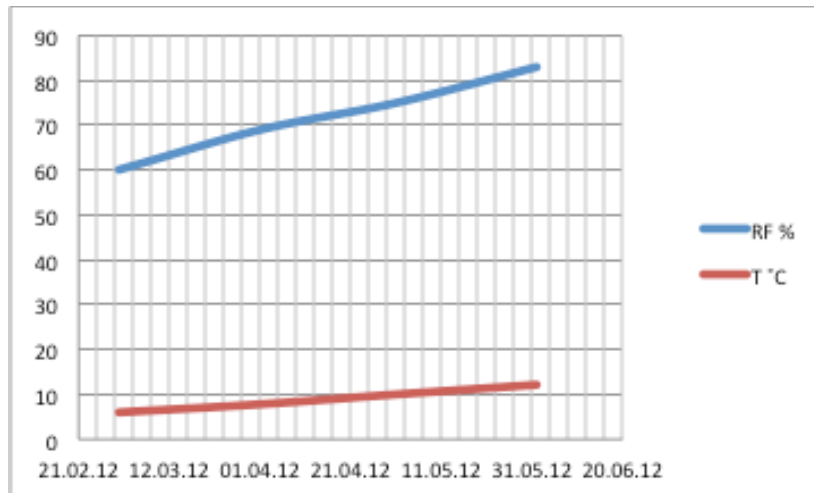
<i>Iso. vegg/dekke</i>	<i>50mm/50mm</i>	<i>50mm/100mm</i>	<i>100mm/100mm</i>
Konstruksjonskostnader			
- vegg	310 533,75	310 533,75	346 366,08
- dekke	273 294	294 790	294 790
Sum	583 827,75	605 323,75	641 156,08
- differanse		21 496	57 328
Spart strømkostnader		487	745
Nedbetalingstid		44 år	77 år

**Tabell 6.2 Kostnader, besparing og nedbetalingstid for aktuelle geometrier**

## 7 Måling av klima i garasjeanlegg

Følgende kapittel er en presentasjon av målt klima i tre garasjeanlegg. Loggerne registrerer relativ luftfuktighet og temperatur. Det er benyttet tre mini-loggere i hvert av prosjektene: en ute som referanse til uteklima, en inne nær porten og en lenger inn i garasjen. De tre prosjektene er de samme som er presentert i kapittel 4: Fornebu Piloten 8.5, Pilestredet Park og Frydenberg Park. Alle klimadata er fremskaffet av (Bär 2012).

Det aktuelle tidsrommet for målinger er, med enkelte unntak, mellom 8. mars 2012 og 21. april samme år. Verdiene benyttet for temperatur og RF i garasjen er vist i figur 7.1.



Figur 7.1 Temperatur- og RF-verdier benyttet i WUFI 2D mellom 1. mars og 1. juni

Årsaken til at verdiene er så jevne er at det er benyttet en tilnærming til klimadataene. Dette er gjort ved å benytte sinus-funksjonen for klima i WUFI. Sammenligner en for eksempel med verdiene i tabell 5.1 ville en fått større variasjon i RF-verdiene. Dette er gjort for å gjøre simuleringene enklere, og for å spare tid.

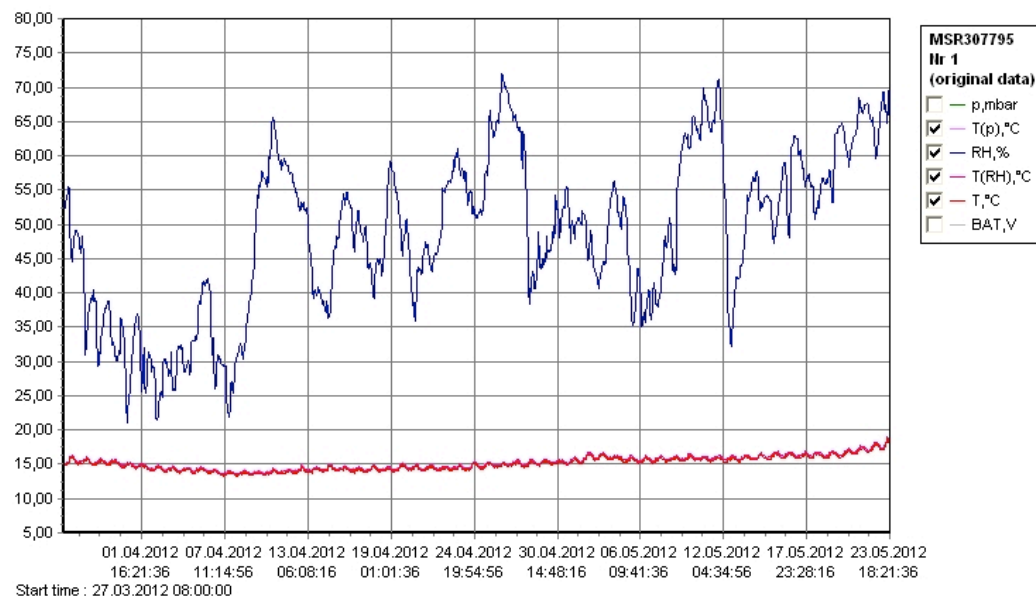


### 7.1 Fornebu 8.5 (Piloten)

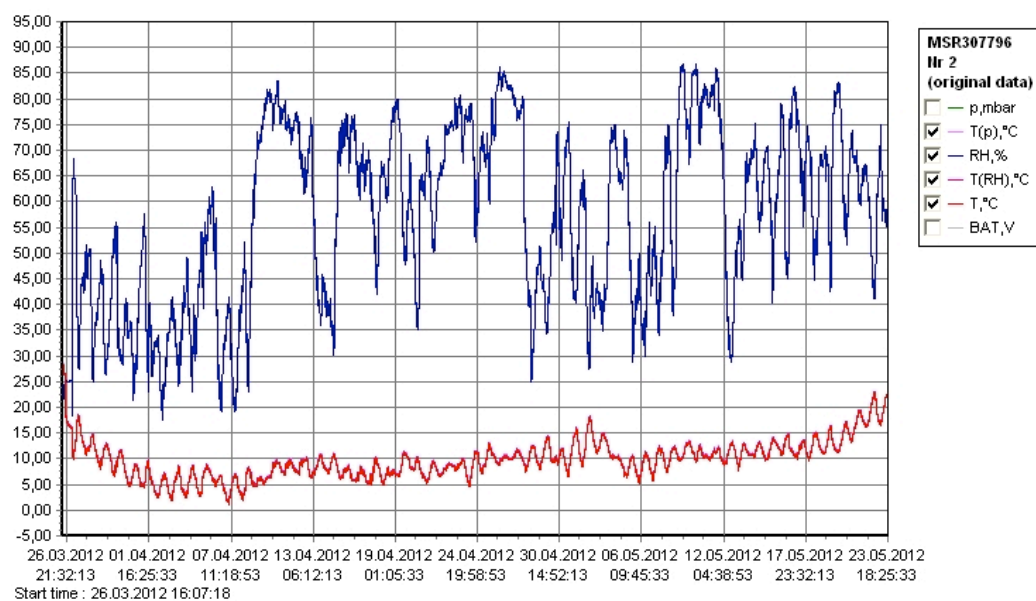
Loggerne på Fornebu 8.5 er nummerert fra 1 til 3, og er plassert og har vært operative som følger:

- 1: Inne i garasjekjelleren, 27.03.2012 – 23.05.2012
- 2: I innkjøringen til garasjen, 26.03.2012 – 23.05.2012
- 3: Ute, 27.03.2012 – 23.05.2012

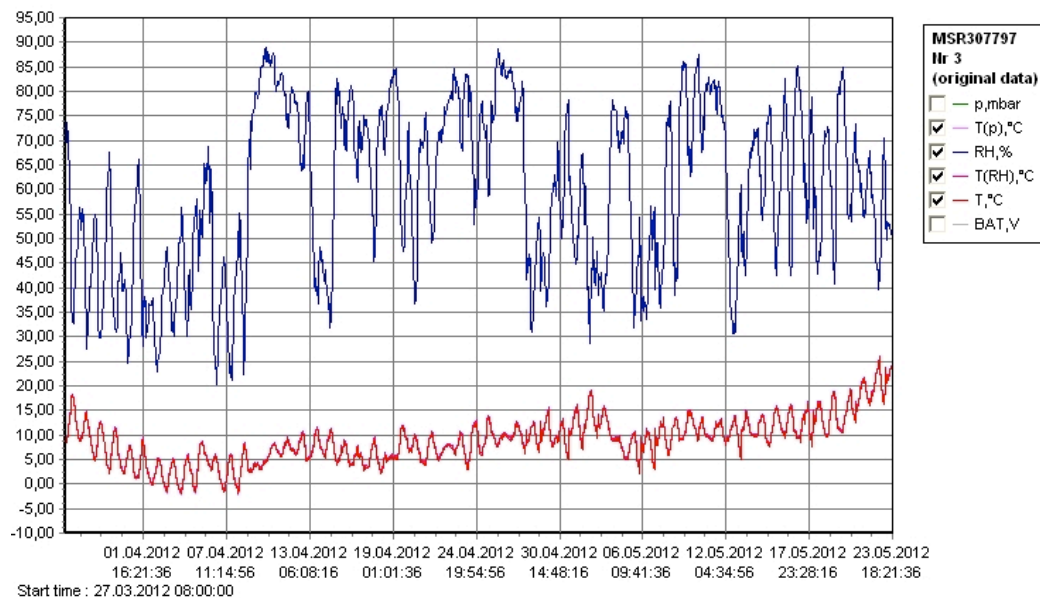
I figurene 7.2, 7.3 og 7.4 er temperatur- og RF-verdiene plottet for henholdsvis logger 1, 2 og 3.



**Figur 7.2 Temperatur- og RF- verdier logger 1, Fornebu 8.5**



**Figur 7.3 Temperatur- og RF- verdier logger 2, Fornebu 8.5**



**Figur 7.4 Temperatur- og RF- verdier logger 3, Fornebu 8.5**

Relativ fuktighet på innsiden av garasjeporten ligger ofte på 85%, og av og til opp mot 90%, jf. figur 7.3. Dette skyldes høyere temperatur og høy RF i utelufta. Når denne varme, fuktige luften kommer inn i garasjen med lavere temperatur øker RF. På uisolerte betongflater kan dette føre til kondens ved værromslag. I himlingen er det ikke montert forebyggende kondensisolasjon.

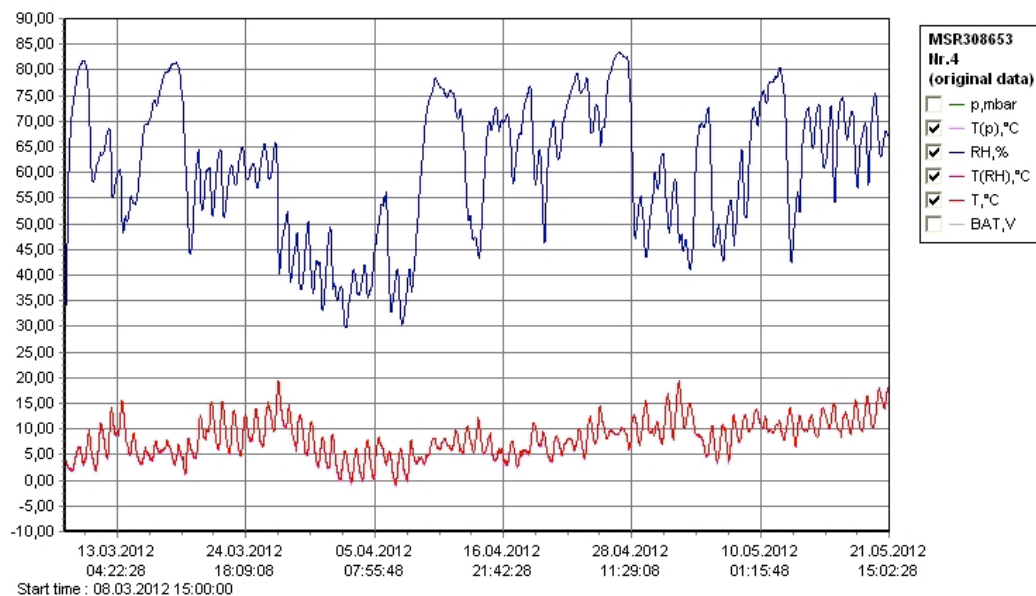
Av figur 7.2 kan en se at temperaturen inne i garasjen ligger på ca. 15°C gjennom hele den registrerte perioden. Dette er i snitt 5°C høyere enn det simulerte klimaet, vist i figur 7.1. Relativ luftfuktighet har stor variasjon, med et gjennomsnitt på mellom 55 og 60%. Sammenlignet med simulert RF er dette betydelig lavere, spesielt mot slutten av perioden. Høyere temperatur og lavere relativ luftfuktighet vil tilsvare en redusert fare for muggvekst. Den økte temperaturen i garasjen vil føre til høyere temperatur i dekkekonstruksjonen og kritisk punkt (vist i vedlegg 1). I sum vil dette støtte opp under konklusjonene trukket i kapittel 5.1 om lav muggvekstrisiko.

## 7.2 Pilestredet Park

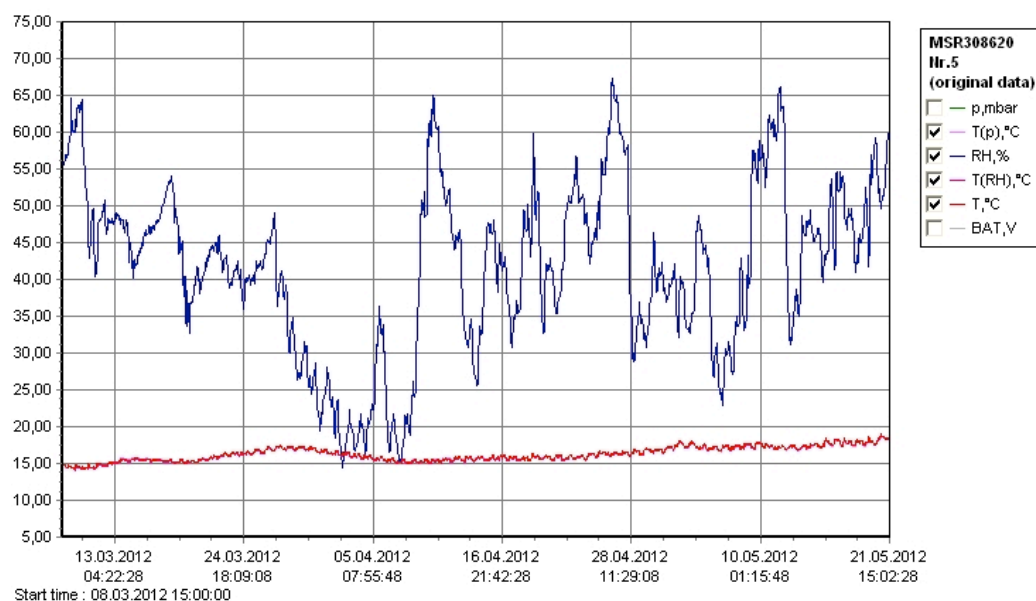
Loggerne på Pilestredet Park er nummerert fra 4 til 6, og er plassert og har vært operative som følger:

- 4: I innkjøringen til garasjen, 08.03.2012 – 21.05.2012
- 5: Inne i garasjen, 08.03.2012 – 21.05.2012
- 6: ute, 26.03.2012 – 21.05.2012

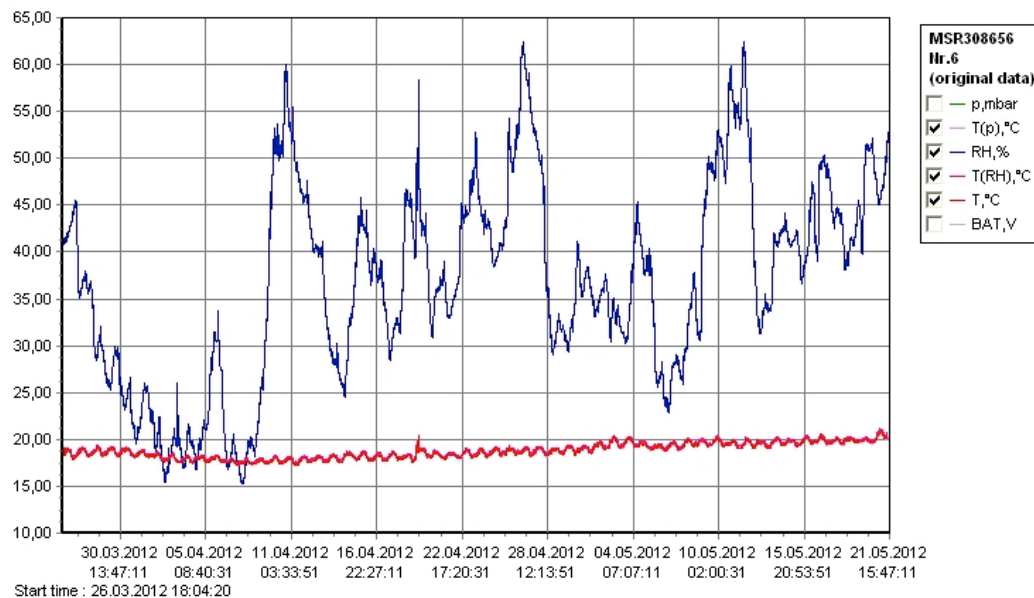
I figurene 7.5, 7.6 og 7.7 er temperatur- og RF-verdiene plottet for henholdsvis logger 4, 5 og 6.



**Figur 7.5 Temperatur- og RF- verdier logger 4, Pilestredet Park**



**Figur 7.6 Temperatur- og RF-verdier logger 5, Pilestredet Park**



**Figur 7.7 Temperatur- og RF-verdier logger 6, Pilestredet Park**

Ved å se på figur 7.5, verdier for loggeren på innsiden av innkjøringen til garasjen, ligger RF-nivået relativt høyt. RF ligger ofte opp mot 80-85%. Dette skyldes at den fuktige utelufta kjøles ned i garasjeåpningen. Ved det målte tidsintervallet er ikke temperaturforskjellen mellom utelufta og registrert temperatur i garasjeåpningen veldig stor (jf. figur 7.5 og 7.7). Ved større værromslag kan kald, uisolert betong ha en treghet som skaper kondens på overflatene. I Pilestredet Park er det montert 150mm isolasjon i hele garasjens himling, noe som vil ha forebyggende effekt i forbindelse med kondens på garasjens dekke.

Sammenligner en temperaturforløpet inne i garasjen, figur 7.6 og benyttet temperaturforløp for perioden presentert i figur 7.1, ligger temperaturen brukt i WUFI 2D i gjennomsnitt ca. 5°C lavere enn målt temperatur. Målt temperatur ligger på ca. 15°C hele perioden, mens temperaturen benyttet stiger jevnt fra 5 til 15°C. Relativ fuktighet i simuleringene stiger jevnt fra ca. 60% til ca. 85%. Målingene fra garasjen ligger i gjennomsnitt en del lavere, og er over hodet ikke jevn. Oppsummert betyr dette at simuleringene gjennomført i oppgaven gir større risiko for muggvekst enn realiteten. Konklusjoner i kapittel 5.1 om ingen nevneverdig muggvekst på uorganisk materiale styrkes.

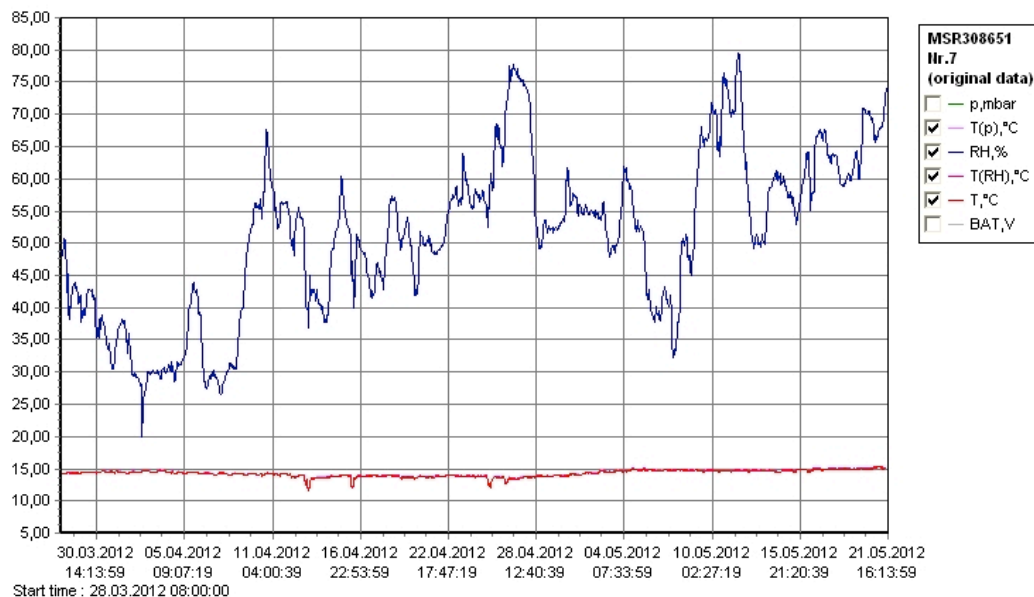
### 7.3 Frydenberg Park

Klima-loggerne benyttet i Frydenberg Park er nummerert, plassert og har vært operative i tidsrommet:

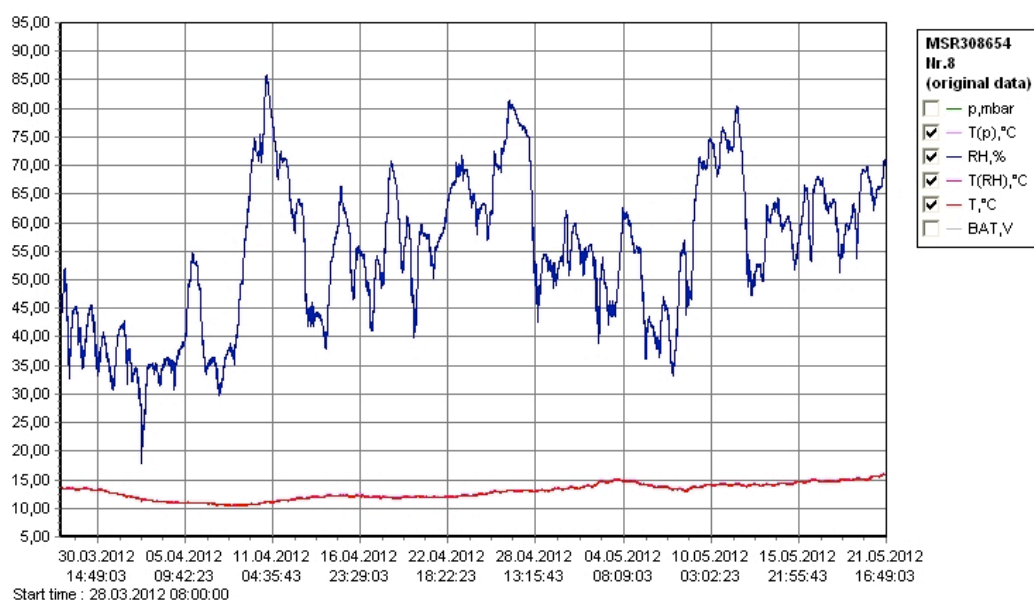
- 7: Inne i garasjen, 28.03.2012 – 21.05.2012
- 8: I innkjøringen til garasjen, 28.03.2012 – 21.05.2012
- 9: ute, 28.03.2012 – 22.04.2012

Logger nummer 9 sluttet å registrere 22. april. Dette skyldes trolig at batteriet ble flatt.

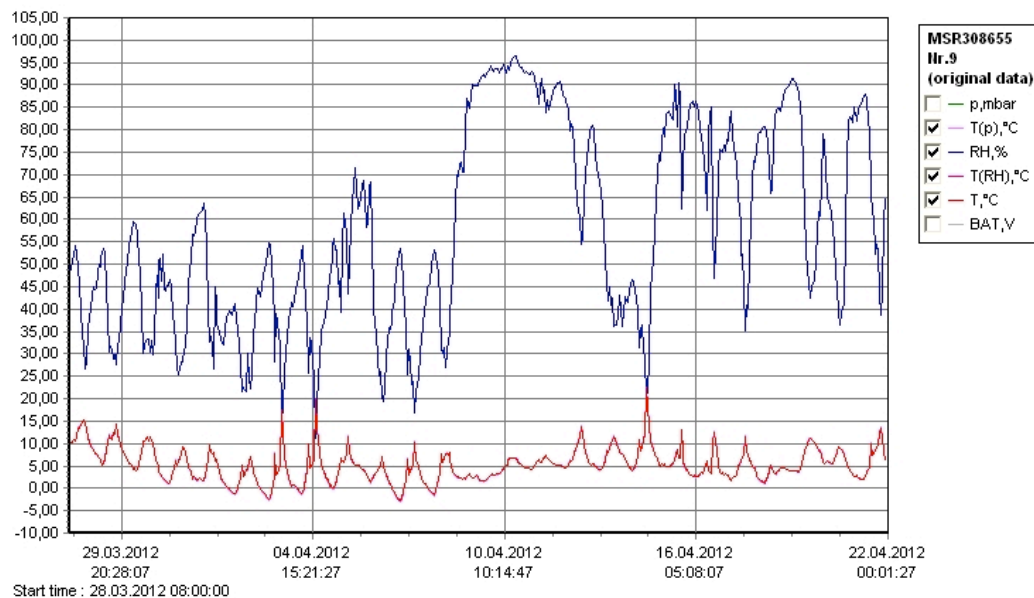
I figurene 7.8, 7.9 og 7.10 er temperatur- og RF-verdiene plottet for henholdsvis logger 7, 8 og 9.



Figur 7.8 Temperatur- og RF-verdier logger 7, Frydenberg Park



Figur 7.9 Temperatur- og RF-verdier logger 8, Frydenberg Park



**Figur 7.10 Temperatur- og RF-verdier logger 9, Frydenberg Park**

Verdier for relativ fuktighet på innsiden av innkjøringen til garasjen ligger også i denne garasjen noe høyt, se figur 7.9. Verdiene er noe lavere enn sammenlignet med Pilestredet Park, men ligger tidvis opp mot 85%. For å forebygge kondens på dekket er det montert isolasjon i himlingen i området rundt garasjeporten.

Temperatur- og RF-verdier inne i garasjen er presentert i figur 7.8. Temperaturen inne i garasjen ligger på ca. 15°C gjennom hele måleperioden, altså om lag 5°C høyere enn gjennomsnittlig simulert temperatur også her. Relativ luftfuktighet inne i garasjen er tidvis likt verdiene benyttet i simuleringene, men varierer kraftig og ligger i snitt lavere. Lavere målte temperaturer og RF-nivå reduserer muggvekstrisiko sammenlignet med simulert tilfelle. Dette styrker konklusjonene trukket i kapittel 5.1.

## 8 Konklusjon og oppsummering

Dette kapittelet inneholder i hovedsak oppsummeringer av de ulike kapitlene, da jeg har gjort store deler av konklusjonene underveis. I tillegg er det beskrevet feilkilder knyttet til de bygningsfysiske undersøkelsene.

### 8.1 Litteraturstudie

Kapittel 3 omfatter blant annet forskriftskrav og anbefalinger. Spesielt anbefalingen for isolering av dekkekonstruksjon er undersøkt i oppgaven. Jeg viser til kapittel 8.3 for konklusjon av dette. Aktuelle, offentlig tilgjengelige forskningsresultater utover Sintef Byggforsk viste seg å være særdeles vanskelig å oppdrive. Dette skyldes i stor grad at grundig forskning på garasjekjellere med bygningsfysisk fokus trolig ikke er foretatt. Det som ble funnet var enten utdatert eller ikke relevant for oppgaven.

Veiledning til TEK 10 gir to muligheter for energiberegninger av delvis oppvarmede rom. Enten kan en velge å inkludere sonen i oppvarmet del av BRA, og regne som om det var fullt oppvarmet. Dette er i utgangspunktet uaktuelt, da en ender opp med betydelig større varmetap enn det som er realistisk. Dette fører også til at en ikke oppnår god energimerking, noe som har fått stor fokus de senere årene. Det er derfor mer aktuelt å benytte det andre alternativet, å utelate sonen fra oppvarmet BRA og ta rommets varmemotstand med i beregninger av varmetap mot grunnen.

En annen utfordring knyttet til Teknisk forskrift er isolering av delvis oppvarmede rom. Det gis ingen direkte krav til dette, men en skal isolere fornuftig etter oppvarmingsgrad. Måten dette normalt løses på er at en isolere slik at ved det aktuelle klimaet inne har en ikke større varmetap enn om rommet var fullt oppvarmet og fullt isolert.

Beregning av varmetap mot grunnen for garasjeanlegg byr på enkelte utfordringer. De delene av dekket over garasjeanlegget som ikke grenser mot boligblokkene, omfattes ikke av NS3031. Skanska løser dette ved å legge inn 100mm kondensisolasjon som også gir høy nok varmemotstand for å tilfredsstille oppvarmingsgraden.

Utfordringer knyttet til beregning av infiltrasjonstap i garasjen er, som for alle bygninger, at en ikke vet hva lekkasjetallet vil bli før en er ferdig. Ved beregninger bør en derfor benytte erfaringstall fra tidligere prosjekter og deretter beregne nytt infiltrasjonstall. Er lekkasjetallet større enn kravet må en inn og utbedre feilene og tette bedre.

Videre er det enkelte utfordringer i forbindelse varmetilskudd i garasjeanlegget. Dette begrenser seg i hovedsak til å beregne varmetilskudd fra biler, samt varmetap fra uisolerte vannrør. Varmetilskuddet fra disse vil dog være noe begrenset, men kan teoretisk være stort over korte perioder.

Om en sammenligner anbefalinger fra Sintef Byggforsk og minstekrav i veiledning til TEK 10 angående ventilasjon av garasjeanlegg, ser en at fuktjerning ved hjelp av ventilasjon ikke er noe problem. Minstekravet i veiledningen og anbefaling fra Byggforsk ligger begge på et luftskifte på 3-6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> og time. Ved å følge minstekravet i veiledningen sørger en dermed for effektiv fjerning av fukt ved hjelp av ventilasjon. En bør likevel legge inn avløp eller drenerende asfalt for å håndtere de største belastningene som kan forekomme.

For å beregne energibehov for vifter og pumper er en avhengig av luftmengder i og utenfor driftstiden, samt driftstiden for ventilasjon og SFP-faktorer. Disse er også benyttet for å beregne ventilasjonstapet i den aktuelle konstruksjonen. Ingen av disse konstantene er oppgitt i standarden, og byr derfor på utfordringer ved beregning. Dette gjelder også for beregning av energibehov til pumper og vannbaserte varme-, kjøleanlegg og varmtvannssirkulasjon, der en er avhengig av driftstimer for anlegget.

Generelt mangler det veiledende verdier for en rekke konstanter benyttet i NS3031. For å løse dette kan en benytte erfaringsdata fra tidligere prosjekter. Dette vil i trolig bidra til en riktigere vurdering av energibehovet enn dersom en utelukkende benytter veiledende verdier.

## 8.2 Kartlegging av reelle prosjekter

En kan se tydelige tendenser til Skanskas ønske om standardisering av sine byggeprosjekter, spesielt med hensyn til bærekonstruksjoner. Isolering av garasjene og dekkekonstruksjon mellom garasje og leilighet er løst noe ulikt. Dette skyldes at isolering per dags dato ikke er standardisert i Skanska-systemet. Denne masteroppgaven er et ledd i standardiseringen av isolering av dekkekonstruksjonen.

Et viktig punkt å presisere omfatter oppvarmings- og ventilasjonsstrategien benyttet i garasjekjellerne. Av de tre prosjektene presentert i oppgaven, er det kun et som velger å benytte spillvarme fra andre sone til oppvarming av garasjen. Dette er Fornebu 8.5, der en benytter avtrekksluft fra lagerbodene tilhørende leilighetene til oppvarming av garasjen. I informasjonen fremskaffet av Skanska ble det ikke dokumentert hvor stor del av oppvarmingsbehovet dette dekker.

Gjennom oppgavens kapittel 6 er det vist at isolasjonsmengden med hensyn på energibruk ikke behøver å overskride 50mm i vegger og dekke over garasjen for å oppnå et godt nok varmetap. Det er benyttet betydelig mer i enkelte av prosjektene.

Informasjonen presentert i oppgaven er dog noe mangelfull. Det hadde vært ønskelig å dokumentere ventilasjonsstrategien i større grad. Det hadde for eksempel vært interessant å dokumentere luftskifte i garasjen, om ventilasjonen er behovsstyrt, mekanisk eller balansert etc. Informasjonen presentert i oppgaven er det Skanska fremskaffet.



### 8.3 Bygningsfysiske undersøkelser

Bygningsfysiske forskningsundersøkelser er begrenset til dekkekonstruksjon mellom oppholdsrom og garasje.

De fukttekniske vurderinger gjennomført viser meget lovende resultater. Det primære målet med disse har vært å dokumentere hvor vidt det er forsvarlig å endre isolasjonens plassering fra under til over dekkekonstruksjon mellom oppholdsrom og garasje. Dette er ikke anbefalt av Sintef Byggforsk, som anbefaler at isolasjonsmengden på varm side er maksimalt 1/3 av isolasjonsmengde på kald side av dekkekonstruksjon.

Mine undersøkelser viser at dette trygt kan gjennomføres dersom en ikke har biologiske materialer under gulvkonstruksjonen. De klimadata som er benyttet i WUFI-simuleringene er en tilnærming til antatt temperatur- og luftfuktighetsforløp over året. Det er gjennomført klimamålinger som viser at dette er en tilnærming som gir større risiko for muggvekst. Undersøkelsene viser også at fukttilskuddet i innelufta har meget stor påvirkning på resultatene.

Videre er det undersøkt konsekvensene av økt byggfukt. Dette er gjort under de samme forutsetninger som tidligere simuleringer, med fukttilskudd *low* og all isolasjon i tilfarergulv. Ved å øke byggfukten fra 80 til 90% i betongen, tørker ikke konstruksjonen skikkelig ut. Dette fører til at en ved simulering over ett år får stor fare for muggvekst. En bør derfor la konstruksjonen tørke godt ut før en legger og lukker gulvet, selv om en ikke benytter dampsperre over isolasjonen i gulvet.

Varmetekniske vurderinger viser at det har en positiv virkning på energiforbruket å isolere på oversiden av dekkekonstruksjonen. Dette skyldes at kuldebroeffekten reduseres ved at varmen hindres i å nå betongen. Betong har høy varmekonduktivitet og leder varmen ut mot utsiden av konstruksjonen.

Temperaturforløpet i kritisk område harmonerer godt mellom de to programmene THERM og WFUI. Vinterperioder med lav temperatur er de mest risikofylte periodene med tanke på muggvekst på dekkekonstruksjon. Temperaturen er tilnærmet lik i de to programmene, noe som styrker konklusjonene i fuktteknisk undersøkelse.

Videre er det gjort vurderinger av ytterligere isolering av dekkekonstruksjonen ved andre gulvkonstruksjoner. Disse viser de samme tendensene med hensyn på isolering over eller under betongdekket. Mer isolasjon over betongen gir lavere varmetap. Undersøkelser knyttet til isolering av sofadrager viser at dette har liten effekt på kuldebrovirkninger, og varmetapet er neglisjerbart mindre. Benytter en derimot en kuldebrobryter mellom sofadrager og betongdekket, vil dette gi om lag samme effekt som å fordele isolasjonen likt på over- og undersiden. Dette er spesielt aktuelt dersom en av ulike årsaker ikke kan isolere på oversiden.

### 8.4 Energiberegninger

Energiberegningene gjennomført har fokus på isolering av delvisoppvarmede garasjekjellere. Utgangspunktet for undersøkelse er gjort for å skape et generelt vurderingsgrunnlag, en 400m<sup>2</sup> kjeller med 200m<sup>2</sup> mot boligblokk og 200m<sup>2</sup> mot terreng i overkant. Som nevnt løser Skanska dette ved å isolere etter oppvarmingsgrad. Det er undersøkt hvor vidt dette gir et akseptabelt varmetap sammenlignet med en fullt isolert og oppvarmet kjeller. Varmetapet for en delvis oppvarmet og en fullt oppvarmet garasjekjeller er henholdsvis 257,31W/m<sup>2</sup> og 325,066W/m<sup>2</sup>. Forutsetningen for å isolere etter oppvarmingsgrad er dermed oppfylt.

Videre er det undersøkt potensialet ved å isolere garasjene bedre. Det er vurdert å doble isolasjonsmengde i dekke over garasjen og vegger, fra 50mm til 100mm. Det viser seg at dette er lite hensiktsmessig. Nedbetalingstiden på ytterligere isolasjon utelukkende i dekket er 44 år, og 77 år for dobbel isolasjon i både dekke og vegger. Årsaken til den lange nedbetalingstiden er de lave strømkostnadene, vist i tabell 6.1. Dette er igjen et resultat av oppvarmingsbehovet i garasjen. Fra figur 6.2, som viser månedlig netto energibehov i garasjen med 50mm isolasjon i dekke og vegger, ser en at det er intet oppvarmingsbehov fra og med april til og med oktober.

### 8.5 Klimamålinger

Resultatene fra klimamålingene viser at temperaturene inne i garasjeanleggene i den målte perioden ligger høyere enn de benyttet i simuleringer i WUFI 2D. Temperaturen i garasjene ligger i snitt ca. 5°C høyere i realiteten. Det simulerte klimaet stiger jevnt fra 5 til 15°C i perioden mars til slutten av april. Dette vil altså si at en har betydelig lavere temperatur i store deler av perioden. Den maksimale temperaturen i garasjen ble satt til 15°C i simuleringene, og ligger i månedsskifte juli/august. Kanskje må denne økes, noe målingene vil vise dersom loggerne får stå over sommeren.

RF-nivået ligger også lavere i realiteten enn det som er benyttet i simuleringene. I tillegg er relativ fuktighet simulert ved å benytte en sinuskurve tilsvarende som temperaturforløpet. I realiteten varierer fuktigheten i meget stor grad, som gir ventilasjonssystemene større mulighet til å fjerne fuktig luft fra garasjen.

I sum vil dette si at simuleringene er gjennomført med forhold som tilsier en økt risiko for muggvekst. Det kan sies å være dimensjonerende verdier for klimaet i garasjen. Trolig er det den økte temperaturen i garasjen som vil ha størst innvirkning på muggvekstrisikoen i det kritiske området av dekkekonstruksjonen. Det innvendige fukttilskuddet har meget stor betydning for faren for muggvekst, og den økte temperaturen i garasjen vil også øke temperaturen på betongdekket. Dette vil igjen føre til lavere relativ fuktighet og redusere muggvekstrisikoen.

Den registrerte utetemperaturen ved de ulike garasjene varierer noe, men det registreres at differansen mellom utetemperatur og temperatur,  $\Delta T = T_e - T_i$ , i garasjen er på ca. 5°C i perioden. For de simulerte tilfellet er  $\overline{\Delta T} \approx -2,7^\circ\text{C}$ . Ser en dette i sammenheng med de økte RF-nivåene, kan dette bety at fukttilskuddet i garasjen på 1g/m<sup>3</sup> er noe høyt.

## 8.6 Feilkilder

Her presenteres feilkilder i forbindelse med de forskningsundersøkelser som er gjort. Disse baserer seg på datasimuleringer, og resultatene vil ikke være bedre enn inndata.

### 8.6.1 WUFI 2D

Ytterkledning og drenerende masser er fjerne fra modellen. Disse kan ha innvirkning på resultatene, men disse vil trolig være minimale. Det var nødvendig å fjerne noen sjikt fra modellen for at resultatfilen ikke skulle feile og skrive null-verdier. Som et generelt grunnlag vil modellen være god nok.

Temperaturforløpet i garasjen er antatt å variere over året som en sinus-kurve. Jeg har ingen målinger for klimaet på vinterstid, og det er mest kritisk i perioder med lave temperaturer (ned mot 5°C). Dette er antatte verdier som kan avvike noe, og det vil forverre situasjonen dersom disse periodene i realiteten er lenger. (jmf. Klimamålinger)

Luftfuktigheten i garasjen vil avhenge både av temperaturen og fukttilskuddet. Fukttilskuddet i tillegg til fukt i utelufta er antatt å være 1g/m<sup>3</sup> i garasjen. Dette er en antatt, noe lav verdi som kan avvike fra virkelige situasjoner.

Materialparametere kan avvike fra faktiske forhold. Det er benyttet standardmaterialer WUFI leveres med, da dette syntes å ha sammenheng med problematikk med programmets resultatfil.

Innvendig fukttilskudd benyttet er standardiserte verdier, basert på undersøkelser dokumentert i (Geving, Holme and Jenssen 2007). Disse er basert på 117 husstander i Trondheim. Hvor vidt disse er representative for hele landet, samt variasjon over året kan bidra til å påvirke resultatene. Dette er trolig den mest avgjørende feilkilden, da fukttilskuddet i oppholdsrommet i stor grad påvirker resultatene.

### 8.6.2 THERM

Ytterkledning og drenerende masser er heller ikke inkludert i disse simuleringene. Det antas luftet kledning, som gjør at det igjen antas at ytterkledningens varmemotstand neglisjeres. Drenerende og fyllmasser vil ha tilnærmet lik temperatur som utelufta. I disse simuleringene kan dette være avgjørende, da også varmemotstanden i grunnen forsvinner. Dette vil dog være likt for hvert av tilfellene, og sammenligningsgrunnlaget vil trolig gi de samme differansene.

Materialer benyttet er standardmaterialer i THERM, samt verdier fra Sintef Byggforsk. Dette er standardiserte verdier som kan avvike fra de faktiske materialene en benytter, og vil variere mellom ulike prosjekter.

Beregning av kuldebruverdier er gjennomført etter beste evne. Det tas likevel høyde for at utregningene kan være noe feil, da dette er relativt kompliserte detaljer med flere elementer enn hva eksempler i lærebøker, rapporter og byggforskblad dekker.

### 8.6.3 Simien

Geometrien benyttet i simuleringene er utformet med det hensyn å være et generelt vurderingsgrunnlag for fremtidige prosjekter. Dette må derfor tas hensyn til ved prosjektering av nye garasjekjellere knyttet til boligblokker.

Oppvarmingssystemet benyttet er basert på Skanskas prosjekter. Dette kan være ulikt andre bedrifters systemer. Det er heller ikke nødvendigvis det mest effektive valget å benytte aerovarmere. Varmegjenvinnerens faktisk effekt kan være ulik den benyttet i oppgaven. Skanskas varmegjenvinner benyttet i Frydenberg Park-prosjektet oppgis til 60%. For å opprettholde undertrykk i garasjen trekkes det ut mer luft enn det tilføres. Mengden luft som skal varmes opp er derfor redusert. Den faktiske effekten av varmegjenvinneren er derfor noe usikker.

Priser fra Holte Anbud baserer seg på erfaringstall fra Holte AS. Om disse er representative for alle prosjekt må vurderes av de enkelte prosjekterende. Nedbetalingstiden vil også i stor grad avhenge av klima, settpunkttemperatur i garasjen og geometri.

## 9 Videre arbeid

Kapittelet omfatter forslag til videre arbeid med temaene behandlet i oppgaven.

En klar fordel ved videre arbeid er å benytte mer kyndige personer med tanke på dataprogrammene, og da spesielt WUFI 2D. Arbeidet med masteroppgaven har vært mitt første møte med programvaren, og kompetansen vil derfor ikke være av ypperste sort. Dette gjelder for øvrig også de andre dataprogrammene benyttet. Har en god kjennskap til programvaren vil en kjenne til flere "triks" for å få programmet til å oppføre seg som en ønsker.

Det forslås også å gjennomføre simuleringer over flere år enn ett. Jeg har benyttet kun ett år da simuleringene tar meget lang tid, og jeg har begrenset med maskinkraft for å gjennomføre disse. Spesielt undersøkelser med økt byggfukt i betongen kan være interessant å se hvordan utvikler seg over andre og tredje år.

De vurderte konstruksjonenes muggvekstrisiko anses å være lav for de fleste geometrier. Ved usikker eller høy muggvekstrisiko kan det være aktuelt å benytte alternative muggvekstmodeller, som også tar høyde for eksponeringstid. Et eksempel på dette er (Nilsson 2009). For å vurdere muggvekstrisiko for enkelte av geometriene kan det også være aktuelt å vurdere muggvekstrisiko på organiske materialer som trevirke opp mot en slik modell.

Masteroppgaven sikter på å kartlegge generelle situasjoner og problemstillinger. En kan med fordel undersøke de konkrete prosjektene en prosjekter før avgjørelser tas.

Det vil være interessant å fortsette klimamålinger for å dokumentere hvordan klimaet i garasjekjellerne varierer med klimaet utenfor. Klimaloggerne står allerede utplassert, og det vil være enkelt å fortsette målingene for å dokumentere hele året. Det kan også være ønskelig å undersøke flere typer garasjekjellere med andre løsninger med tanke på isolering, geometri, ventilasjon og oppvarmingsstrategier.

Det fremkommer at ett av prosjektene i kapittel 4 benytter overskuddsvarme til oppvarming av garasjen. Det foreslås derfor å gjennomføre energiberegninger der dette er inkludert for å vurdere om det er gunstigere å benytte dette til oppvarming av boligene, samt verdien av dette både i garasjer og boliger.

## Referanser

- AkerByggteknikk. *A-plan flytegulv*. 2012. [http://www.akerbyggteknikk.no/uploads/pdf/Brosjyre\\_AB\\_T.pdf](http://www.akerbyggteknikk.no/uploads/pdf/Brosjyre_AB_T.pdf) (funnet april 28, 2012).
- Kommunal- og regionaldepartementet. *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Bolig- og bygningsavdelingen. 4 april 2012. <http://www.lovdatabasen.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html> (funnet mai 1, 2012).
- Byggforsk. 471.111 *Beregningsmetode for å unngå kondens eller muggvekst på innvendige overflater*. Byggforskblad, Norges Byggforskningsinstitutt, 1999.
- Byggforsk. 521.112 *"Golv på grunnen med ringmur. Varmeisolering, frostsikring og beregning av varmetap"*. Byggforskblad, Norges Byggforskningsinstitutt, 2005.
- Byggforsk. 521.811 *Telesikring av uoppvarmede bygninger og konstruksjoner*. Byggforskblad, Norges Byggforskningsinstitutt, 2010.
- Byggforsk. 522.362 *Tilfarergolv i nye og eksisterende bygg*. Byggforskblad, Norges Byggforskningsinstitutt, 2009.
- Byggforsk. 525.002 *Takkonstruksjoner. Valg av taktype og konstruksjonsprinsipper*. Byggforskblad, Norges Byggforskningsinstitutt, 2007.
- Byggforsk. 525.304 *Terrasser på etasjeskiller av betong for lett eller moderat trafikk*. Byggforskblad, Norges Byggforskningsinstitutt, 2007.
- Byggforsk. 722.403 *Skader på betongdekker i garasjeanlegg*. Byggforskblad, Sintef Byggforsk, Norges Byggforskningsinstitutt, 1997.
- Byggforsk. 725.121 *Skader på terrasser over oppvarmede rom. Årsaker og utbedring*. Byggforskblad, Norges Byggforskningsinstitutt, 2011.
- Bär, Ulrike. «Case-studier.» 2012.
- BIBSYS. *Om oss*. udatert [http://www.bibsys.no/norsk/om\\_oss/index.php](http://www.bibsys.no/norsk/om_oss/index.php) (funnet mai 1, 2012).
- Direktoratet for Byggkvalitet. "Veiledning om tekniske krav til byggverk, TEK10." 2011. <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/14/1/> (funnet mars 19, 2012).
- Gustavsen, Arild. *WUFI 2D*. 2010 2-februar. <http://www.wufi.no/Wufi2d.php3> (funnet april 25, 2012).
- Gustavsen, Arild, et al. *Kuldebroer-Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*. Prosjekkrapport, Sintef Byggforsk, 2008.
- Geving, Stig, and Jan Vincent Thue. *Fukt i bygninger*. Oslo: Norges Byggforskningsinstitutt, 2002.
- Geving, Stig, Jonas Holme, and Jon A. Jenssen. *Indoor air humidity in Norwegian houses*. Trondheim: Sintef, 2007.
- Google. *Om Google Scholar*. 2011. <http://scholar.google.no/intl/no/scholar/about.html> (funnet mai 1, 2012).

Holte AS. *Mengdeberegning og kalkulering av anbud.*

<http://www.holte.no/mengdeberegning.aspx> (funnet mai 11, 2012).

Jan Bakke, Olav Bjørseth, Lene Johannesen, Martinus Løvik, Tore Syversen.

*Fuktige bygninger gir helseplager.* Trondheim: NTNU - Det medisinske fakultet, 2000.

LBNL. «Modelling frame and edge heat transfer with THERM.» *windows.lbl.gov.*

januar 2011. <http://windows.lbl.gov/software/NFRC/NFRCsim6.3-2010-Chptr06.pdf> (funnet mai 19, 2012).

LBNL. *THERM.* 2012 1-mars.

<http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html> (funnet april 25, 2012).

Lovdata. *Om Lovdata.* u.d. <http://lovdata.no/info/fakta.html> (funnet mai 1, 2012).

Nilsson, Lars-Olof. *Kunskapsläge och råd kring fuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för trekonstruktions.* Tilstandsrapport, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 2009.

Mangor-Jensen, Ole, interview by Kristian Bakkejord. (2012).

OBOS. *Om Piloten.* u.d. <http://www.obosfornebu.no/?aid=9079431> (funnet mai 3, 2012).

ProgramByggerne. *Simien.* <http://www.programbyggerne.no/> (funnet mai 7, 2012).

Sedlbauer, K., M. Krus, W. Zillig, and H.M. Künzle. *Mold growth prediction by Computational simulation.* San Francisco: Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001.

Sintef Byggforsk. *Om Sintef Byggforsk.* udatert

<http://bks.byggforsk.no/Info.aspx?i1=43&i2=54> (funnet mai 1, 2012).

Sintef Byggforsk, SOS. "Byggforsk tjenester SOS-Spørsmål og svar." *Spørsmål angående garasje delvis under bakken.* u.d.

<http://tjenester.byggforsk.no/default.aspx?funksjon=svartjenesten&stInnholdsID=2&innholdsID=186&sosID=217> (funnet mars 22, 2012).

Sintef. *Dette er Sintef Byggforsk.* 2012 8-februar.

<http://www.sintef.no/Byggforsk/Dette-er-SINTEF-Byggforsk/> (funnet mai 1, 2012).

Skanska. *Frydenberg, Oslo.* udatert

<http://bolig.skanska.no/Prosjekter/Frydenberg/> (funnet mai 3, 2012).

Skanska. *Introduction: Pilestredet Park.* 17 juni 2011.

<http://www.skanska.com/en/Sustainability/Our-Journey-to-Deep-Green/Welcome-to-Green-City/Pilestredet-Park-Norway/Project-Introduction/> (funnet mai 3, 2012).

Slick, Matt. "Når ble bibelen skrevet og hvem skrev den?" *CARM - Christian Apologetics & Research Ministry*. udatert. <http://carm.org/n%C3%A5r-ble-bibelen-skrevet-og-hvem-skrev-den> (funnet april 19, 2012).

Standard Norge 3031. *Norsk Standard NS3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse*. Standard Norge, 2007.

Statistisk sentralbyrå. *Strømpriser i ulike land i utvalgte år i perioden 1980-2007*. 2008. <http://www.ssb.no/samfunnsspeilet/utg/200804/10/tab-2008-10-08-01.html> (funnet mai 8, 2012).

Statistisk sentralbyrå. *Tekniske og økonomiske hodetall, fjernvarme*. 2011. <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/fjernvarme/tab-2011-12-05-02.html> (funnet mai 8, 2012).

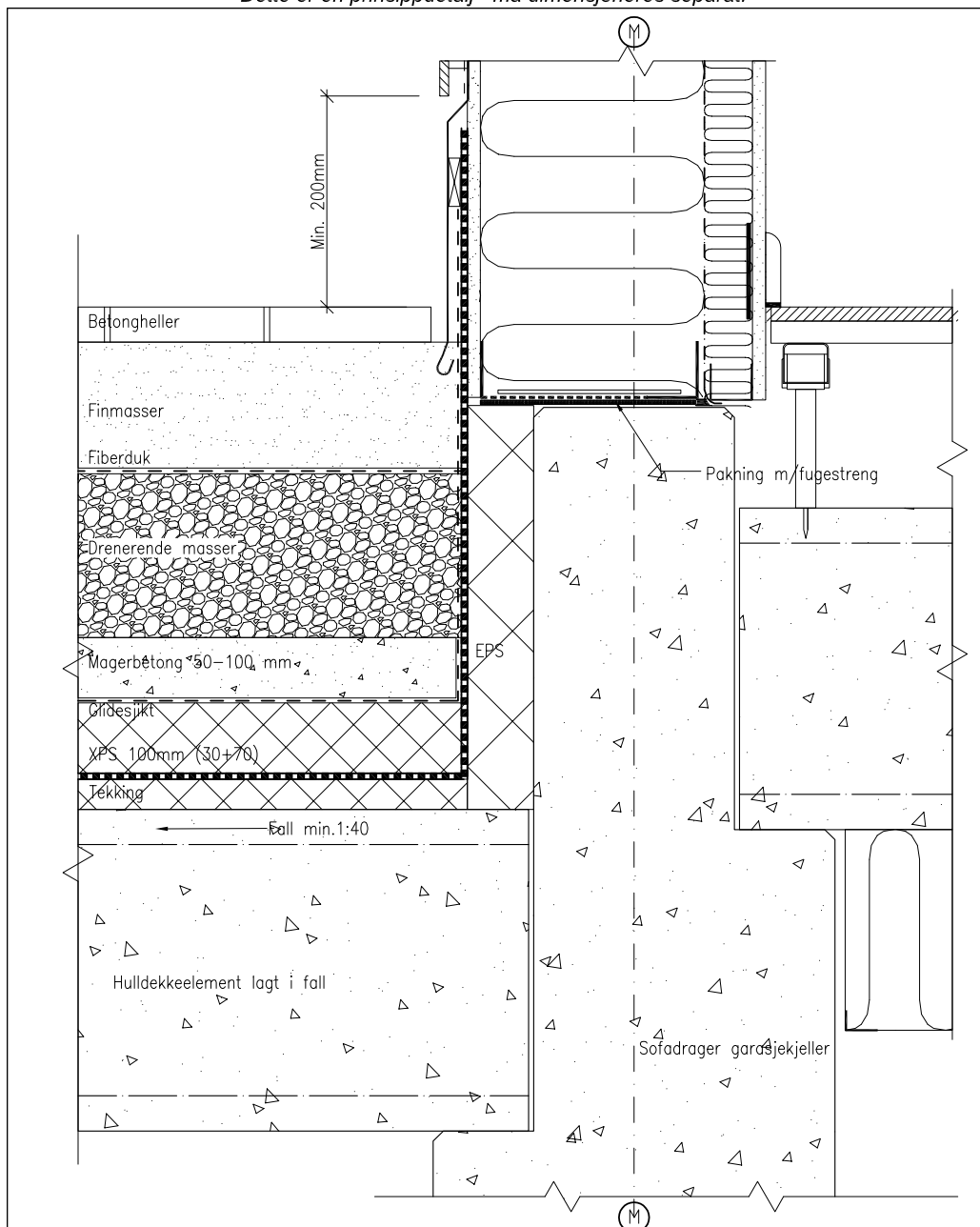


## **Vedlegg**

**Vedlegg 1 – Detalj overgang heller**

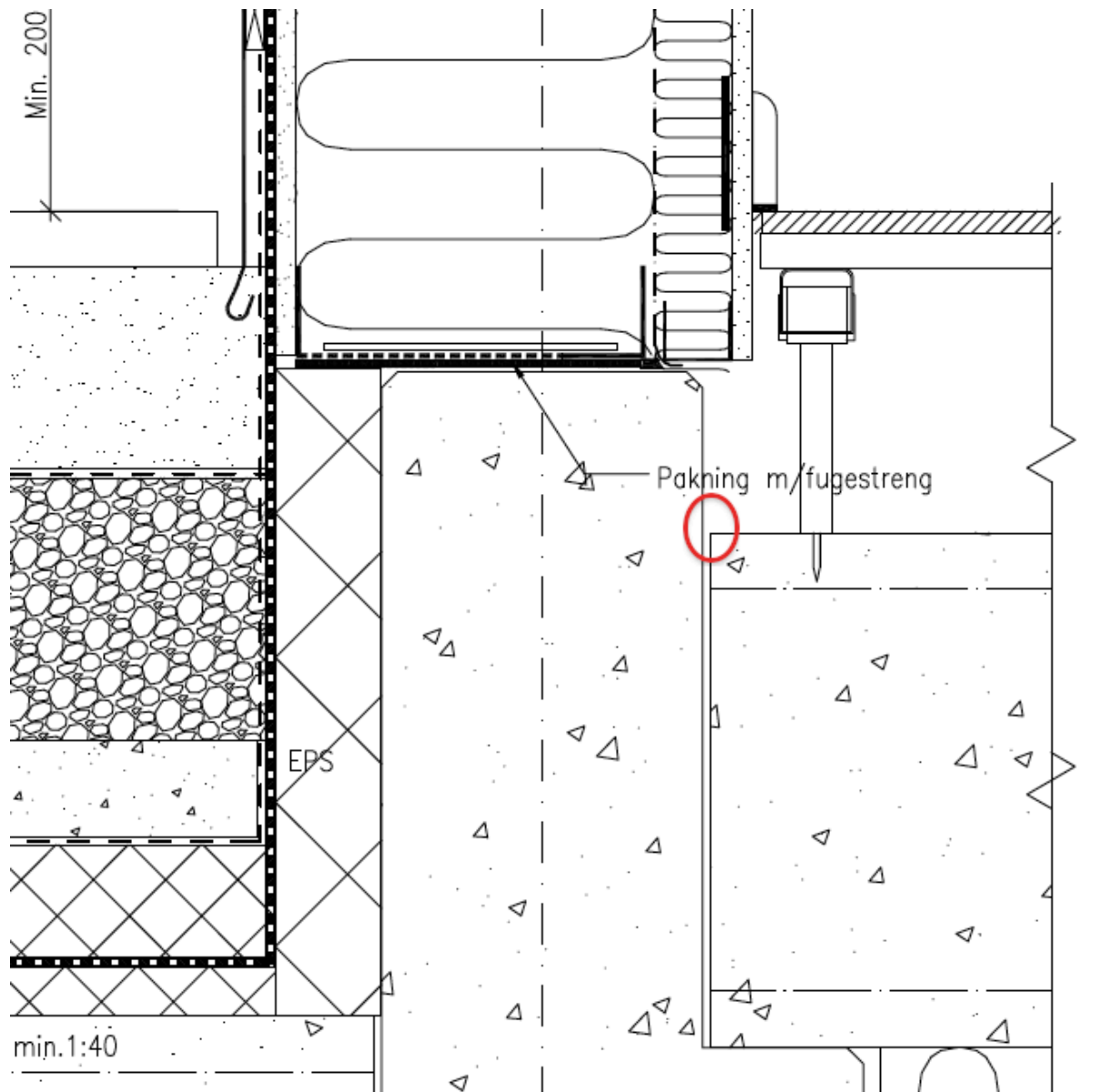
Skalert ned, ugyldig skala.

*Dette er en prinsippdetalj - må dimensjoneres separat.*



<b>UTOMHUS</b> Overgang p-kjeller-1.etg Overgang heller					<b>SKANSKA</b> Postboks 1175 - Sentrum, 0107 Oslo Tlf.: 40 00 64 00	
Prosjekt nr.:	Dato:	Målestokk: 1:5	Tegnet: UB	Kontroll: SPD	Rev dato:	Tegnings nr.:
Filnavn: Z:\Skanska Byggesystem\Detaljer\UNDER ARBEID\YTTERVEGGER\20110322_Original DWG.dwg					Overgang heller	

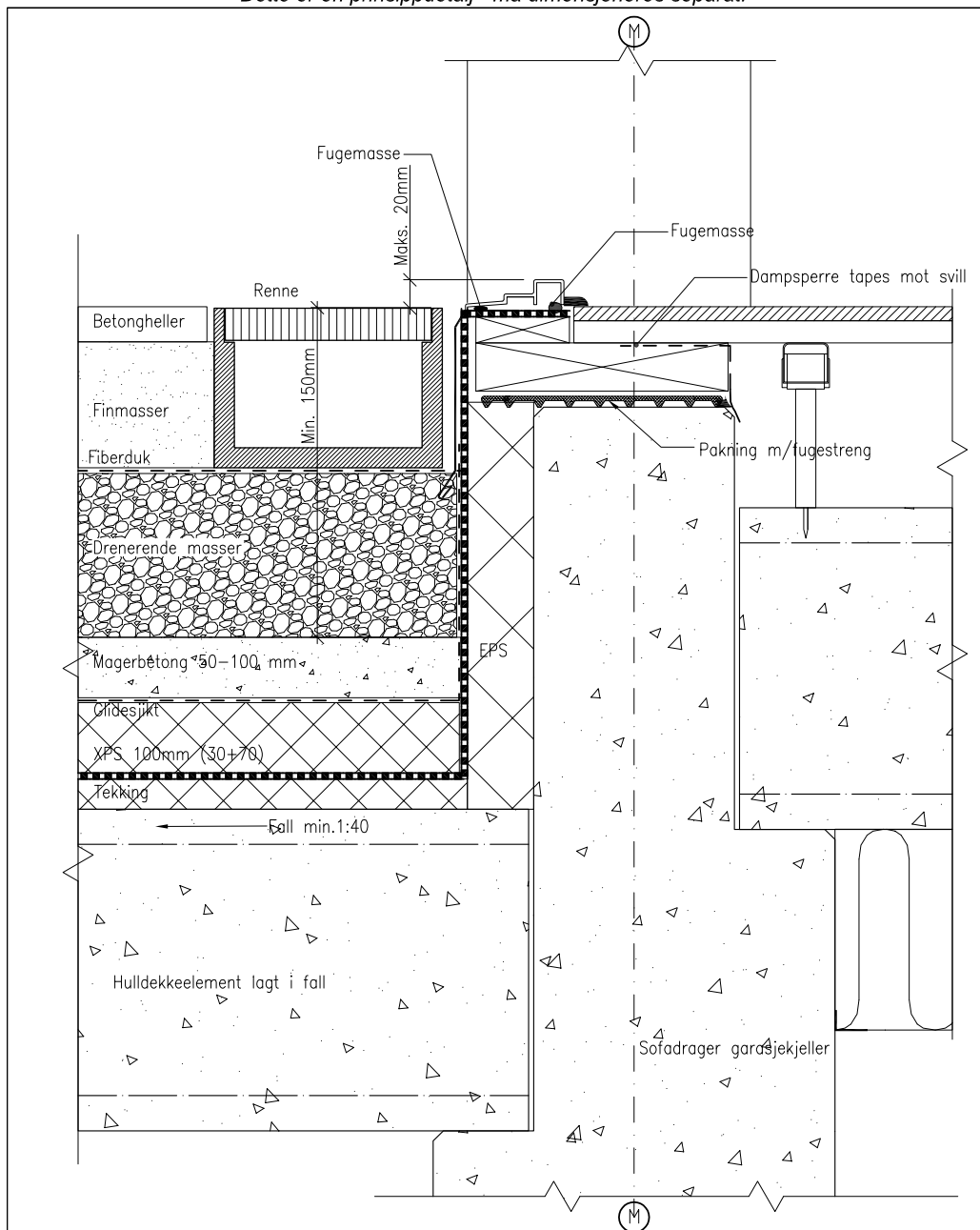
Kritisk punkt vurdert i forbindelse med fukttekniske simuleringer gjennomført i WUFI 2D, presentert i kapittel 5.1 er vist under.



**Vedlegg 2 – Detalj overgang terrassedør**

Skalert ned, ugyldig skala

*Dette er en prinsippdetalj - må dimensjoneres separat.*



<p><b>UTOMHUS</b> Overgang p-kjeller-1.etg Terrassedøra</p>						<p><b>SKANSKA</b> Postboks 1175 - Sentrum, 0107 Oslo Tlf.: 40 00 64 00</p>	
Prosjekt nr.:	Dato:	Målestokk:	Tegnet:	Kontroll:	Rev dato:	Tegnings nr.:	Rev.
		1:5	UB	SPD		Terrassedøra	
<p><small>Filnavn: Z:\Skanska Byggesystem\Detaljer\UNDER ARBEID\YTTERVEGGER\20110322_Original_DWG.dwg</small></p>							

**Vedlegg 3 – Feilmeldinger og materialvalg i simuleringer**

Følgende feilmeldinger ble registrert under de ulike simuleringene i WUFI 2D:

**All isolasjon i tillfarergulv**

Fukttilskudd "Low"

- Konvergens feilet 0 ganger
- Iterasjon feilet 3 ganger

Fukttilskudd "Medium"

- Konvergens feilet 0 gange
- Iterasjon feilet 3 ganger

Fukttilskudd "High"

- Konvergens feilet 0 ganger
- Iterasjon feilet 4 ganger

Fukttilskudd "Low", 90% RF i betong

- Konvergens feilet 0 ganger
- Iterasjon feilet 6 ganger

**Anbefalt isolasjonsplassering**

Fukttilskudd "Low"

- Konvergens feilet 0 ganger
- Iterasjon feilet 0 ganger

Materialer og parameterverdier benyttet i WUFI 2D er alle standardmaterialer i WUFI. Navn og verdier er vist i tabellen

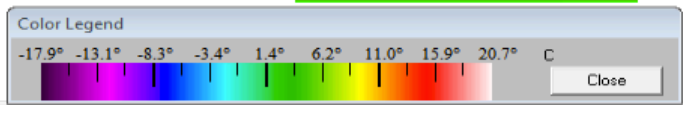
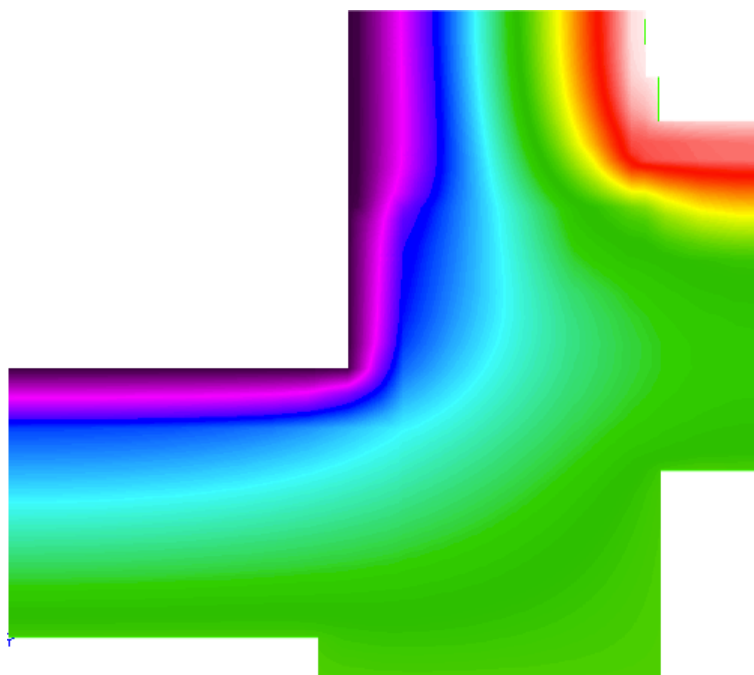
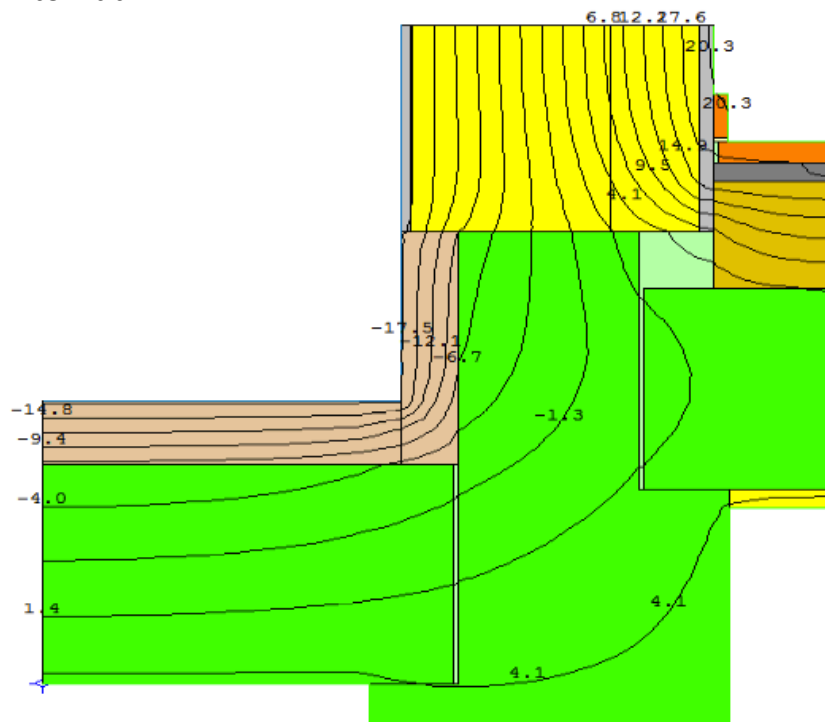
	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Porøsitet [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Varmekapasitet [J/kgK]	Varmekonduktivitet [W/mK]	Vanndamp diff. motstands faktor[-]
EPS	15	0,95	1500	0,04	30
XPS core	40	0,95	1500	0,03	100
Concrete w/c 0,5	2300	0,18	850	1,6	180
Luftsjikt: Air layer 100mm *	1,3	0,001	1000	0,59	0,15
Air layer 70mm *	1,3	0,001	1000	0,4	0,23
Membrane of laminated polypropylen	130	0,001	1500	3	25
Plywood	410	0,5	1600	0,13	210
Scandinavian spruce	420	0,75	1600	0,13	50

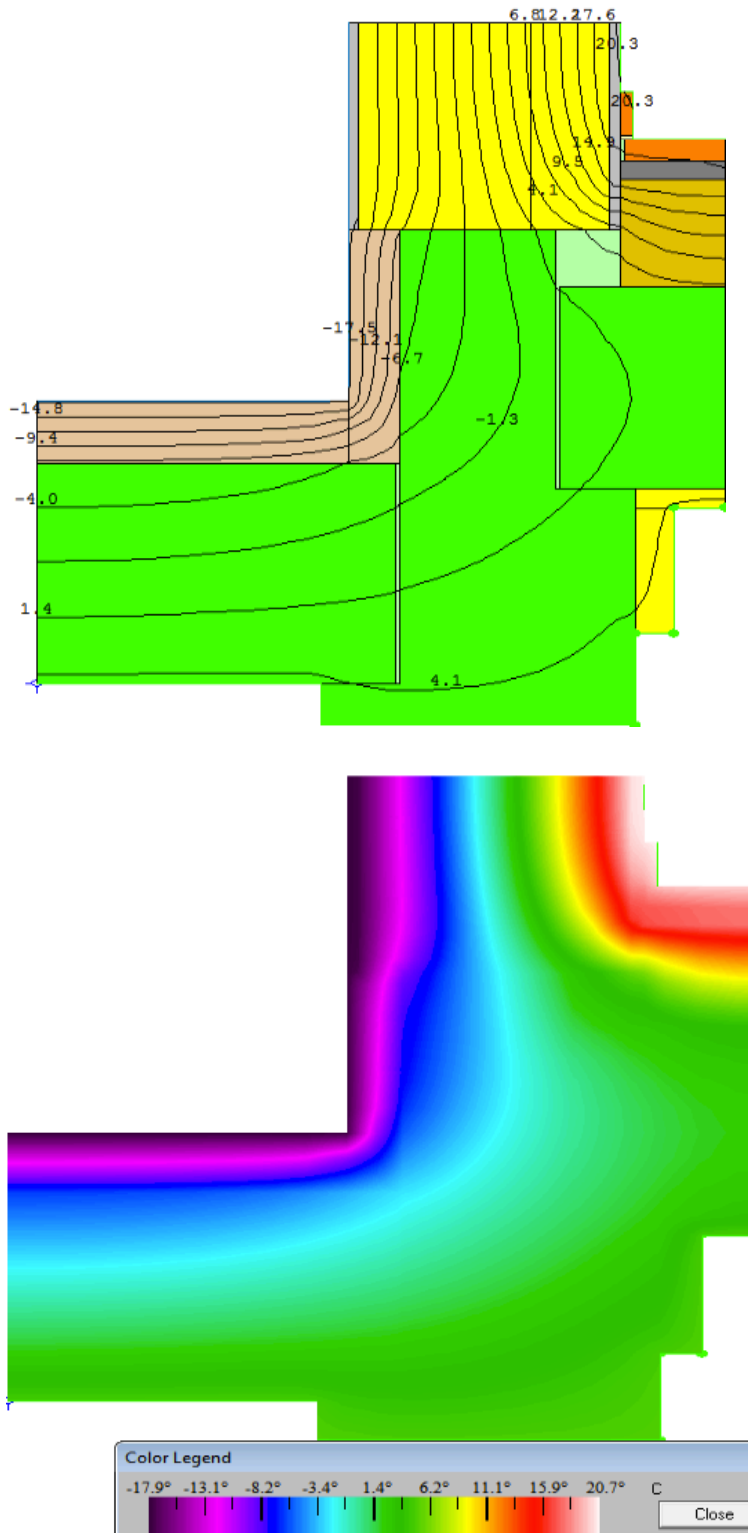
\* Without additional moisture capacity

**Vedlegg 4 – Illustrasjoner, kuldebroer**

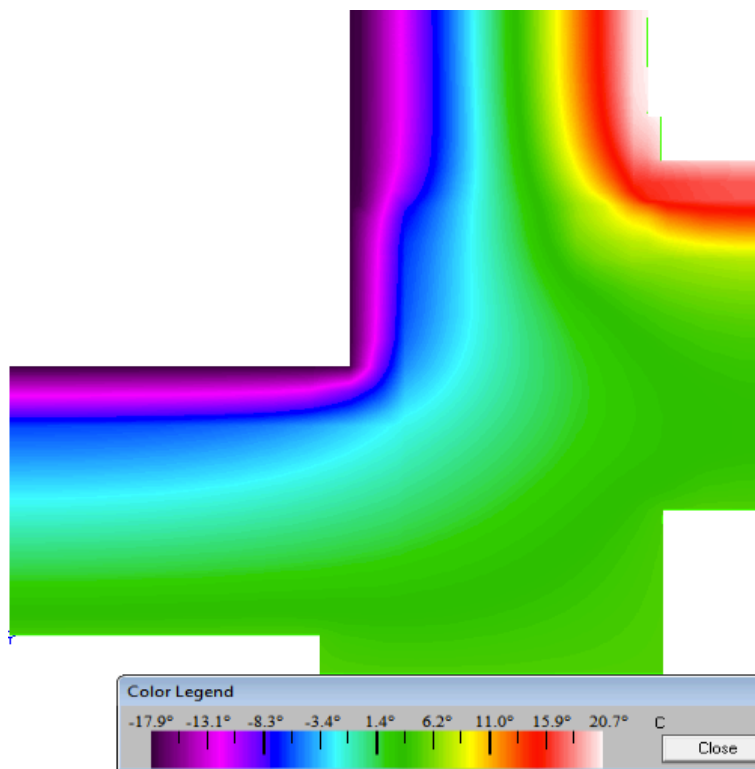
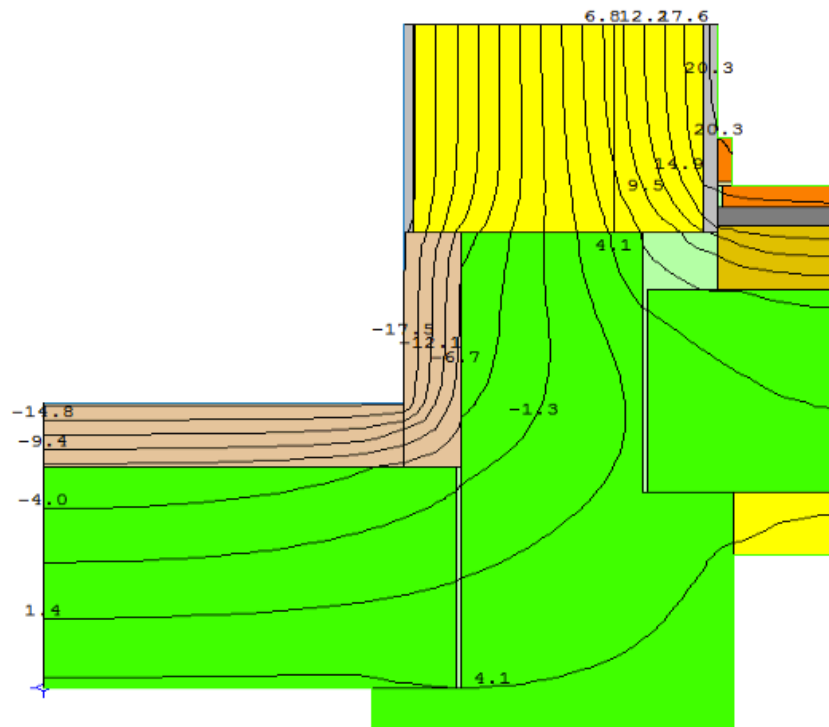
Illustrasjoner til ytterligere kuldebrovurderinger. Ikke målbare.

**Alternativ 1**



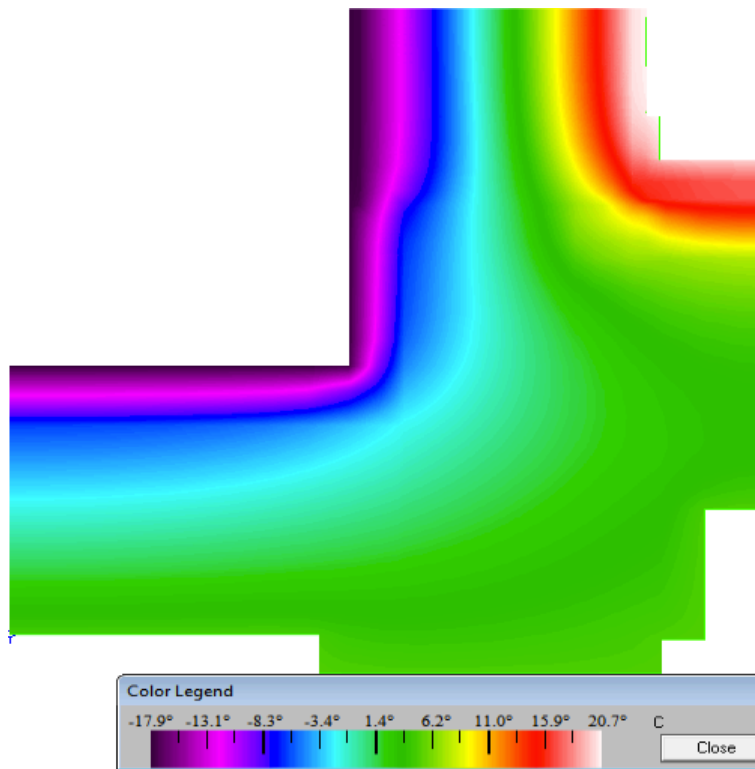
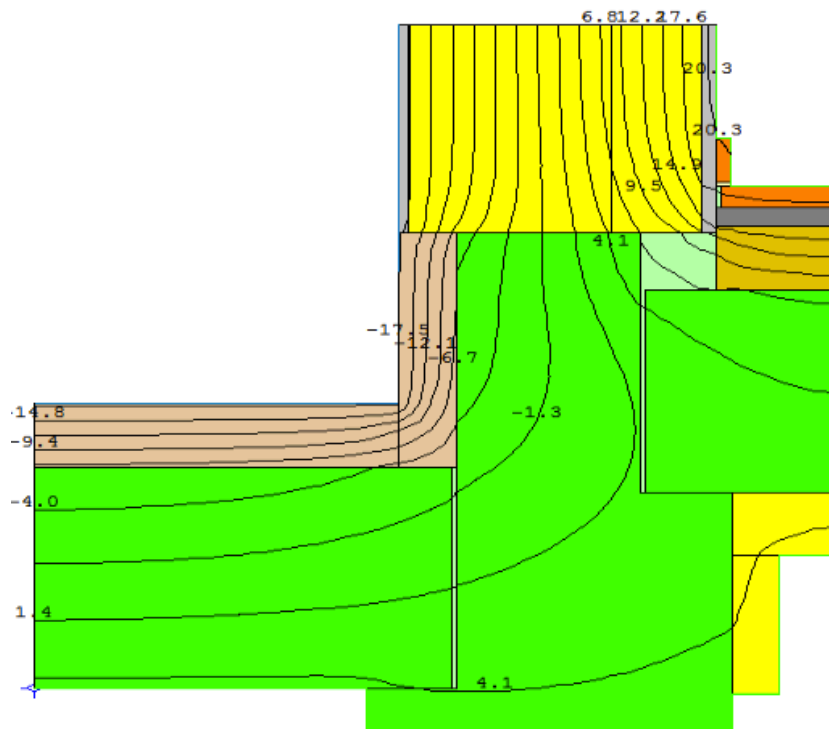


Alternativ 3

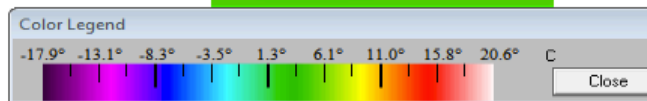
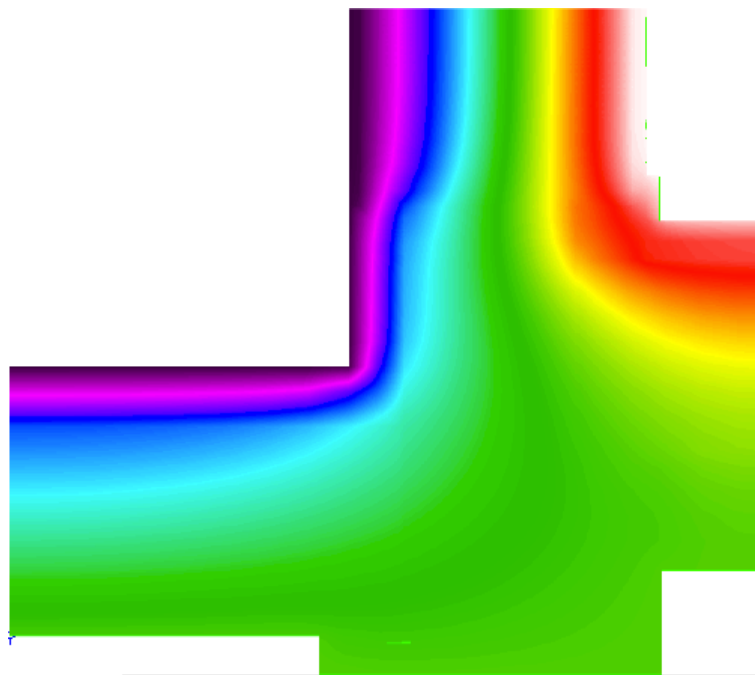
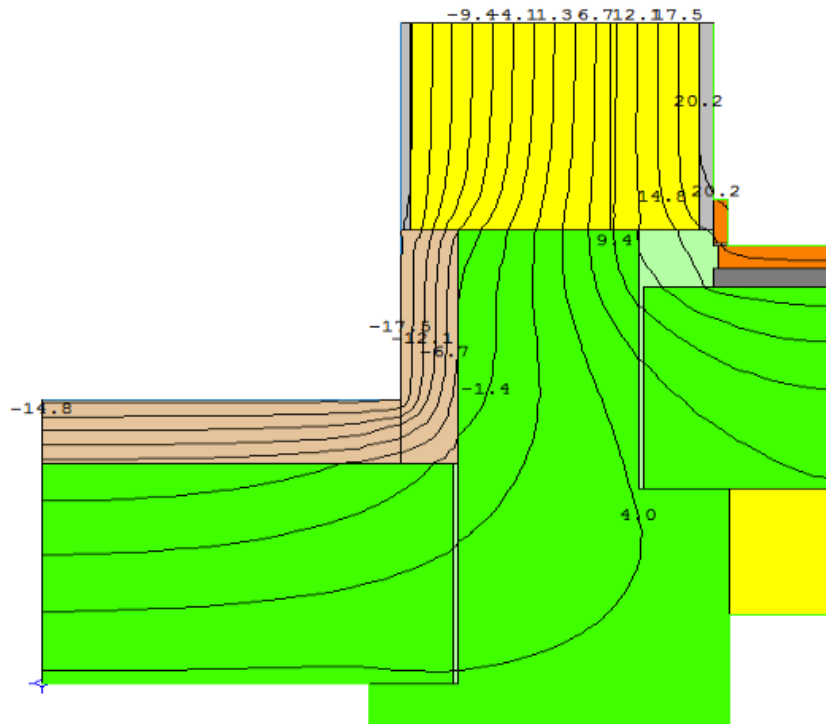




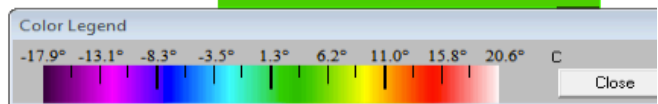
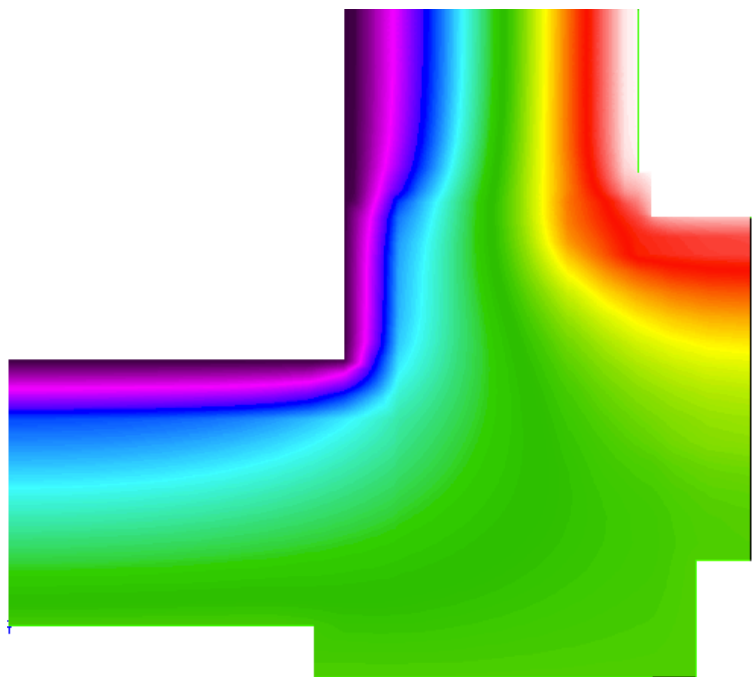
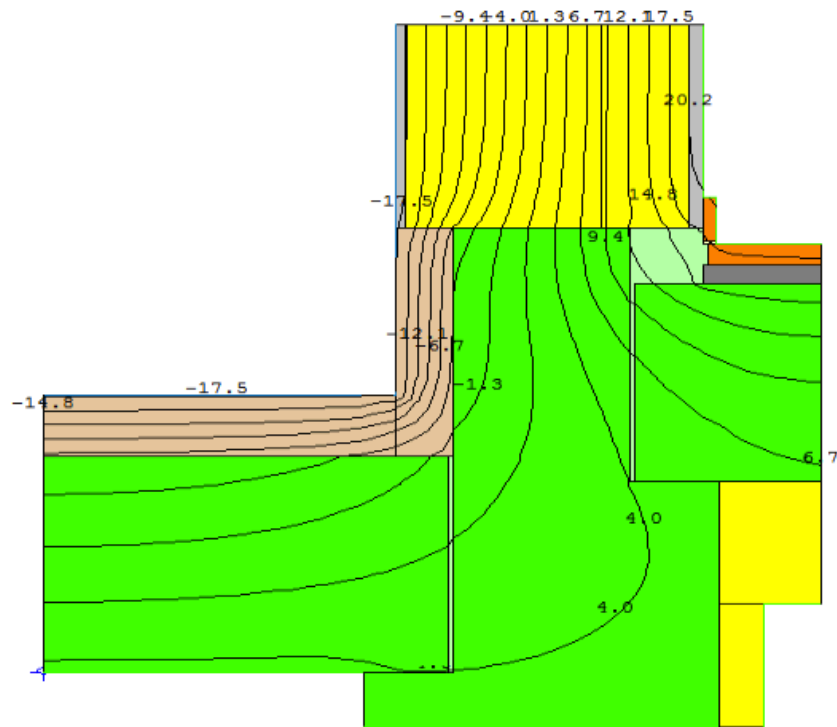
Alternativ 4



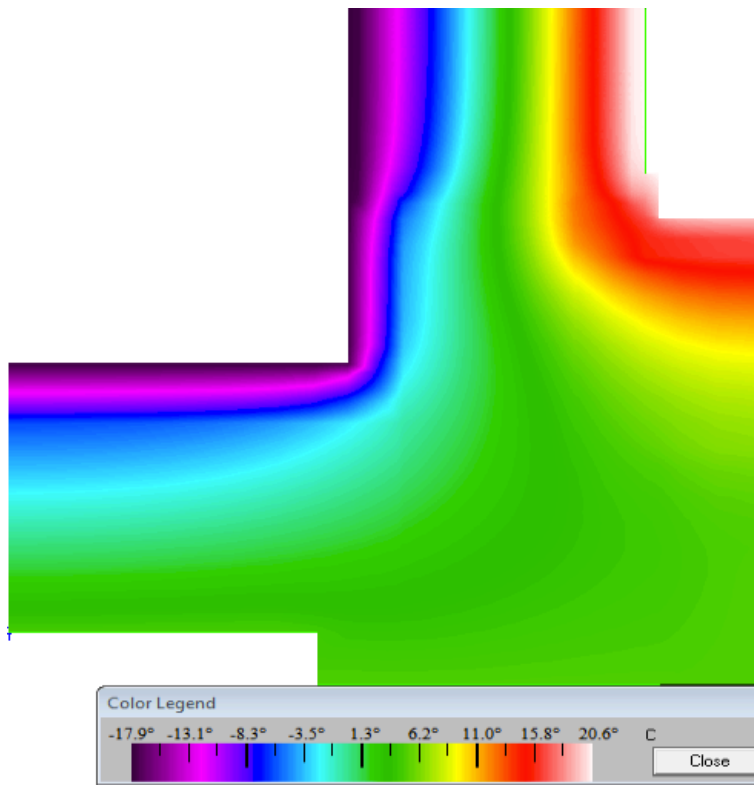
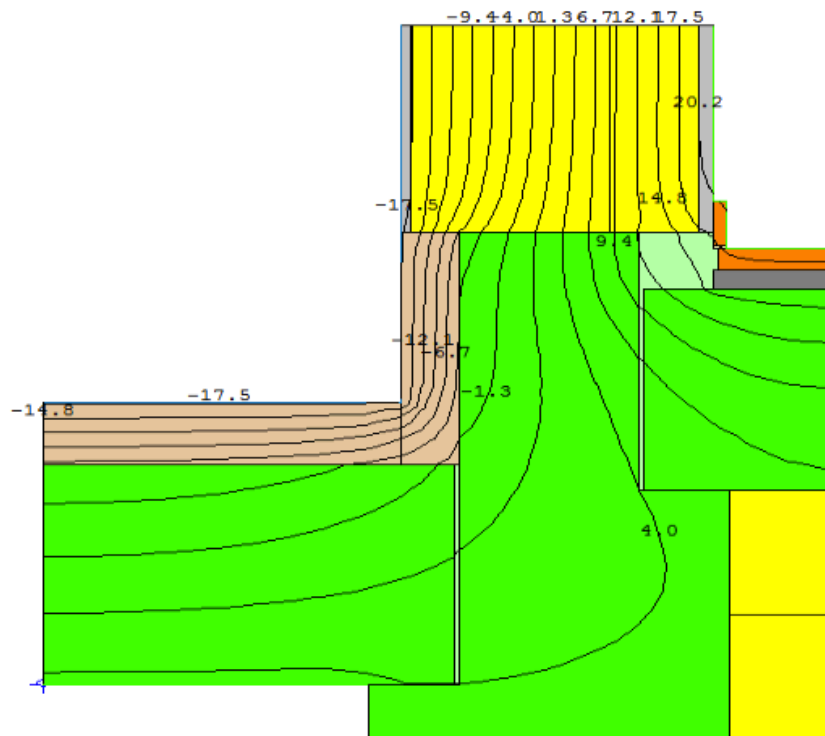
Alternativ 5



Alternativ 6



Alternativ 7



Alternativ 8

