



UIT

NORGES
ARKTISKE
UNIVERSITET

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Bygningsfysiske utfordringer i forbindelse med kalde garasjelegg

Building physics in cold garage facilities

Emil Pettersen og Bjørn Anders Pettersen

Masteroppgave i Integriert bygningsteknologi, mai.2019



Forord

Denne oppgaven er utarbeidet som en avsluttende oppgave på masterstudiet ved Institutt for bygg, energi og materialteknologi ved UiT Norges Arktiske Universitet, campus Narvik. Oppgaven er skrevet over en periode på 18 uker våren 2019 og har en vektning på 30 studiepoeng per student.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Consto AS og omhandler bygningsfysiske utfordringer i forbindelse med kalde garasjeanlegg. Etter ønske fra oppdragsgiver er det fokusert spesielt på bygningsdelen mellom garasjeanlegget og overliggende leiligheter. Målet er å avdekke om det i disse områdene er noen svakheter i form av kuldebroproblematikk og eventuell fuktproblematikk. Analysen av etasjeskilleren omhandler simulering av kuldebro og klimamålinger som er gjort på bygget.

Arbeidet med fagfeltet og emnet har gitt oss en god innsikt i temaet bygningsfysikk, i tillegg til verdifull erfaring innenfor prosjektarbeid. På grunn av den praktiske tilnærmingen av oppgaven er det i tillegg opparbeidet en dypere forståelse av hvordan teorien kan brukes i det praktiske arbeidet som kreves i en slik oppgave, kombinasjonen med teori og praktisk arbeid har gjort oppgaven svært interessant og lærerik.

Forfatterne er svært takknemlige for muligheten med oppgaven og erfaringen som har blitt tilegnet underveis i prosessen. Dette har gitt dyrebar erfaring som er god og ha med seg videre i arbeidslivet. Det ønskes å rette en takk til vår eksterne veileder ved Consto AS, Geir Soleng, som i sin ellers travle hverdag har tatt seg tid til å støtte og veilede oss i arbeidet med oppgaven. Videre vil vi rette en takk til veileder Svein Erik Sveen ved UiT, som har gitt oss nyttige tips samt gode og konstruktive tilbakemeldinger underveis i arbeidet. Kunnskapen og hjelpsomheten til Nils Andreassen på laboratoriet på Institutt for bygg, energi og materialteknologi ved UiT hadde vi ikke klart oss uten, takk for all veiledning.

Narvik, 16. mai.2019



Bjørn Anders Pettersen



Emil Pettersen

Sammendrag

Årlig koster byggeskader samfunnet 17 milliarder. Gjennom undersøkelser utført av SINTEF byggforsk er det konkludert med at 65-70 prosent av disse byggeskadene skyldes fukt (TU, 2017). Byggeskader som dette har resultert i at Plan og bygningsloven (PBL) og Direktoratet for byggkvalitet (DIBK) utarbeidet en ny forskrift som trådte i kraft 1.1.2013 som ett tiltak på å redusere byggeskader. Tiltaket som ble vedtatt var utførelse av uavhengig kontroll på alle bygg som inngår i tiltaksklasse 2 og 3, i tillegg til klarere rammer på utførelse. Ett av fagfeltene som inngår i den uavhengige kontrollen er bygningsfysikk.

Opgavens fokusområde har vært relatert til bygningsfysiske utfordringer i kalde garasjeanlegg. Det er tatt utgangspunkt i Øvreveien terrasse på Bardufoss i Målselv kommune. Boligblokken er bygget av Consto og består av fire etasjer med leiligheter over et uoppvarmet garasjeanlegg i underetasjen. Etter ønske fra Consto er det fokusert spesielt på bygningsdelen som binder sammen garasjeanlegget med leilighetene og uteområdet over garasjeanlegget. Bygningsdelen er undersøkt for kuldebro- og kondensproblematikk.

Det er utført målinger av strålingstap på overflater i garasjeanlegget, for å kartlegge plassering av måleutstyret. I tillegg er det utført visuelle observasjoner inne og ute som kan være relevant for det bygningsfysiske ved bygget. Data fra temperatur- og relativ luftfuktighets logging (temperatur- og RF logging) er senere benyttet i simuleringsprogrammene THERM og WUFI 2D. Simuleringene har til hensikt å vurdere ulike isolasjonslengder og plasseringer opp mot kuldebro og kondensfare.

Perioden med logging av temperaturer og RF varte fra 07.03 til 27.03.2019, i måleperioden ble det målt temperaturer ned mot $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, og temperaturer opp mot $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Måleresultatene viste seg å være verdifulle når effekten av væromslagene ble analysert i WUFI 2D, det ble totalt utført tre simuleringsvariasjoner:

- THERM, stasjonær
- WUFI 2D, stasjonær
- WUFI 2D, transient

Resultatene som fremkommer viser at stasjonære simuleringer ikke er tilstrekkelige for en så kompleks konstruksjon som ble modellert i denne oppgaven. På grunn av lav overflatetemperatur i tilfarergulvet for samtlige isolasjonslengder, ble det foretatt en fuktteknisk analyse for dette området. Analysen som ble gjort under transiente forhold med værdata fra Bardufoss målestasjon indikerer at det er fare for kondensering i kritisk punkt, og dermed fare formuggsopp.

For å heve temperaturen gjennom konstruksjonen og i kritisk punkt, er det utarbeidet et nytt forslag til hvordan denne kuldebroen kan løses med 5 cm XPS mellom hulldekkene. Løsning vil bidra til å heve temperaturen i kritisk punkt, og dermed begrense kondensfaren i dette området.

Abstract

Every year, building damages costs society NOK 17 billion. Through surveys conducted by SINTEF Building and Infrastructure, it is concluded that 65-70 percent of these building damage is due to moisture (TU, 2017). Damages like these has resulted in the “Plan og bygningsloven” (PBL), and the “Direktoratet for byggkvalitet” (DIBK) drafting a new regulation that took effect as of 1.1.2013 as a measure to reduce building damages. It was decided that an independent control of all buildings that fall under Action Classes 2 and 3 should be carried out, in addition, clearer frameworks on execution were provided. One of the disciplines that form part of the independent control is building physics.

The focus area of the thesis has been related to building physics in cold garage facilities. It is based on a garage facility with connection to a housing block in Bardufoss in Målselv municipality. The housing block built by Consto, consists of 4 floors of apartments and an unheated garage facility on the lower floor. At the request of Consto, there is a particular focus on the detail that connects the garage facility with the apartments and the outdoor area above the garage. The detail has been examined for thermal bridge and condensation problems.

Measurements have been made of the radiation loss in the garage installation and around the passage between the apartments and the garage to find a reasonable location for the logging equipment used measure surface temperatures. In addition, visual observations have been made both inside and outside which may be of significance for the building physics of the garage installation. Data from temperature and relative humidity logging (temperature and RF logging) have subsequently been used in the simulation programs THERM and WUFI 2D. The simulations are intended to assess different insulation placements against the thermal bridge and condensation risk.

The period of temperature and relative humidity logging lasted from 07.03 to 27.03.2019, during which temperatures were measured down to $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ and up to $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. The measurements proved to be very valuable when analyzing the effect of the weather changes on the construction using the simulation program WUFI 2D. Three simulation variations were carried out:

- THERM, stationary
- WUFI 2D, stationary
- WUFI 2D, transient

The results that appear, show that stationary simulations are not sufficient for such a complex construction that was modelled in this task. Due to the low surface temperature in the dye floor for all insulation lengths, a moisture analysis was carried out for this area. The analysis that was done under transient conditions with weather data from Bardufoss weather station indicates that there is a risk of condensation at critical point, and thus mold growth.

In order to raise the temperature through the construction and at the critical point, a new proposal has been prepared for how this cold bridge can be solved with 5 cm XPS between hollow core slabs. This solution will help raise the temperature in the critical point, thus limiting the condensation risk in that area.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Sammendrag	iv
Abstract	vi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Samarbeidsbedrift	1
1.2.1 Byggeskikk og regionale forskjeller	2
1.3 Metode	4
1.3.1 Case-studie.....	5
1.4 Mål og avgrensninger av oppgaven.....	5
1.5 Rapportens oppbygning	6
1.6 TEK 10 og Sintef Byggforsk	6
2 Teoretisk grunnlag for oppgaven	7
2.1 Vær og klima for Bardufoss	7
2.2 Fukt.....	8
2.2.1 Absolutt Luftfuktighet.....	8
2.2.2 Relativ luftfuktighet (RF).....	9
2.2.3 Kondensering vist i luftfuktighetsdiagram – Mollierdiagram	9
2.2.4 Porer og poresystemer i betong	11
2.3 Varmetransport	13
2.3.1 Konduksjon (Varmeledning)	14
2.3.2 Konveksjon	15

2.3.3	Stråling.....	15
2.4	Måling av strålingstap.....	16
2.5	Varmelagring.....	17
2.6	Kuldebro.....	17
2.6.1	Kuldebroens bidrag til U – verdi	18
2.6.2	Konsekvenser for kuldebro.....	18
2.7	Vanlige betongskader.....	19
2.7.1	Klorider	19
2.7.2	Karbonatisering.....	19
2.7.3	Alkaliereaksjon.....	20
2.7.4	Salt- og kalkutslag.....	20
2.8	Betongoverdekning og eksponeringsklasse	20
2.9	Dekkekonstruksjon.....	21
3	Bygningsfysikk i garasjeanlegg.....	25
3.1	Fordeler og ulemper med oppvarmede- og uoppvarmede garasjeanlegg.....	25
3.2	Tekniske installasjoner i kalde garasjeanlegg.....	26
3.3	Vanlige skader i garasjeanlegg	27
3.3.1	Vannansamling, klorider og karbonatisering.....	27
3.3.2	Vannskader og følgeskader.....	28
4	Kartlegging av måleobjekt.....	31
4.1	Øvreveien terrasse.....	31
4.1.1	Garasjeanlegget.....	31
4.1.2	Første etasje	32
4.1.3	Oppsummering.....	33
4.2	Første befarings og måling av strålingstap (Torsdag 21.02.2019).....	34

4.3	Beskrivelse av måleobjekt og måleoppsett.....	34
4.3.1	Detaljer for temperatur- og RF logging	35
4.3.2	Klargjøring og montering av måleutstyr	38
4.4	Andre befaring og måling av strålingstap (Torsdag 07.03.2019).....	39
5	Måleresultater	41
5.1	Innledning	41
5.2	Resultater fra temperatur og RF logging.....	42
5.3	Termograferingsresultater	45
6	Simulering av varmetransport.....	47
6.1	Innledning	47
6.1.1	THERM	47
6.1.2	WUFI 2D	48
6.2	THERM, stasjonære forhold.....	48
6.2.1	Varmeovergangsmotstand, materialparametere og grensebetingelser	48
6.2.2	Rutesystem (Mesh)	49
6.2.3	Temperaturer og RF benyttet i simuleringmodellen	50
6.2.4	Resultater.....	50
6.3	WUFI 2D, stasjonære forhold.....	51
6.3.1	Varmeovergangsmotstand, materialparametere og grensebetingelser	51
6.3.2	Rutesystem (Grid)	52
6.3.3	Temperaturer og RF benyttet i simuleringmodellen	52
6.3.4	Resultater.....	53
6.4	WUFI 2D, transient.....	54
6.4.1	Varmeovergangsmotstand, materialparametere og grensebetingelser	54
6.4.2	Rutesystem (Grid)	55

6.4.3	Temperaturer og RF benyttet i simuleringsmodellen	55
6.4.4	Resultater.....	56
7	Diskusjon	59
7.1	Temperatur- og RF logging	59
7.2	Termografering.....	63
7.3	Simulering	65
7.3.1	Stasjonær simulering.....	65
7.3.2	Transient simulering	68
7.3.3	Muggsopp	70
7.4	Observasjoner på bygg	72
8	Oppsummering.....	77
8.1	Konklusjon	78
8.2	Forslag til videre arbeid	79
9	Referanseliste.....	81
10	Vedlegg	85

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Krav til antall parkeringsplasser for boligblokker er ofte gitt i kommunens reguleringsplan, og løses som regel med et garasjeanlegg i én eller flere av byggets etasjer. Garasjeanleggene er som regel uoppvarmet, noe som er med på å skape bygningsfysiske utfordringer. De vanligste utfordringene er kuldebro- og fuktproblematikk.

Consto har bygd en rekke boligblokker med tilhørende uoppvarmede garasjeanlegg. Noen av de vanligste problemområdene for fukt og kuldebroer er ofte i overgang mellom terreng og vegg, gjennomføringer fra kald til varm side og kontinuerlige dekker. Kontraktene til Consto er som oftest totalentrepriser, som betyr at de er ansvarlig for alle løsninger som blir valgt, også løsningene for å eliminere de bygningsfysiske problemene. I den forbindelse er Consto interessert i å kontrollere løsningene for dekkekonstruksjonen mellom kalde garasjeanlegg og varme overliggende leiligheter, i tillegg til å se på kontinuerlige dekkekonstruksjoner som strekker seg fra oppvarmet sone og ut i kald sone.

1.2 Samarbeidsbedrift

Consto AS ble høsten 2006 etablert i Tromsø med et mål om å bli en av de ledende byggentreprenørene i Nord-Norge. I dag, bare 13 år etter oppstarten har Consto ca. 900 ansatte fordelt på 19 kontorer fra Kristiansand i sør til Svalbard i nord, i tillegg har de 2 kontorer i Sverige. Målet som ble satt i 2006 er nådd og Consto er i dag en av de ledende på sitt område i Norge sett under ett. Consto er totalleverandør av nybygg, totalrehabiliteringer eller tilbygg, kundene er enten offentlige eller private aktører. I 2015 ble i tillegg Consto Anlegg AS etablert, med ambisjon om å etablere seg som en landsdekkende og bærekraftig aktør innenfor anleggsvirksomhet.

Helt siden oppstarten i 2006 har lokal markedskunnskap og tilhørighet i kombinasjon med mottoet «vi holder det vi lover» vært viktige strategier og verdier for selskapet. Det er også lagt stor vekt på korte beslutningsveier innad i selskapet slik at fristene som blir satt overholdes og at kundene blir fornøyd med fremdriften på prosjektene. Consto er også til enhver tid offensiv og åpne for forandringer i egen organisasjon og endringer i markedet, slik at posisjonen som en av landets ledende entreprenørselskaper kan beholdes (Consto, 2019a).

1.2.1 Byggeskikk og regionale forskjeller

Forståelsen av regionale forskjeller er svært viktig i bygningsfysikk. Hvis man ser på eldre bebyggelse fra ulike områder kan man se store ulikheter i byggeskikken som har blitt utviklet over tid for de forskjellige områdene i verden. Utviklingene er formet etter de regionale forholdene og utfordringene disse områdene har. Dette kan være alt fra snø, vind, regn, lave temperaturer, høye temperaturer eller en kombinasjon av de nevnte utfordringene.



Figur 1.1. Iglo er forbundet med Inuittene. (Hall. C. F, 1865)



Figur 1.2. Mesaihus (Huuse. K, 2014)

Figur 1.1 og 1.2 viser to ulike boliger brukt av to ulike urbefolkninger som opprinnelig var nomadefolk. Selve utformingen av boligene er veldig lik, det som skiller er hvilken type materialer som er benyttet. Inuittene er fra områder som er kalde på dagen og kalde om natten. All varmen til oppvarming er produsert fra menneskekroppen, det er derfor behov for å isolere godt. Det beste naturlige isolasjonsmaterialet inuittene hadde tilgang på var snø. I tillegg dekket de til overflatene inne i igloen med skinn for å forhindre at snøen skulle smelte. Mesaiene har andre utfordringer enn Inuittene, de lever i områder som er varme om dagen og kalde om natten. Boligene til Mesaiene er bygget av en blanding av leirjord, aske og kumøkk. Til reisverk og bæring brukes en kombinasjon av større trevirke og greiner. Oppvarmingen av boligen skjer ved hjelp av solenergi som varmer opp veggene, om natten avgis solenergien lagre i veggene gradvis. I tillegg til solenergi har Mesaiene tilgang til brensel, i motsetning til inuittene som i stor grad måtte klare seg uten brensel.

Så ekstreme forskjeller har man ikke innenfor Norges fastlandsgrenser, men det er likevel store regionale forskjeller innenfor byggeskikk i Norge. I løpet av de siste tiårene har man sett en stadig økning av arkitekter som henter inspirasjon til materialer og utforminger på bygg fra andre deler av verden. I enkelte tilfeller kan det også være arkitekter og aktører fra andre land som prosjekterer bygg i Norge. Ett godt eksempel på dette er utbyggingen av Melkøya utenfor Hammerfest, hvor det norske klimaet kom som en overraskelse på ett utenlandsk firma. Arbeidet kunne ikke utføres som planlagt, det var behov for å sette opp vindavskjerming før arbeidet kunne utføres (Sundsbo P. A, 2018). Det at kysten i Norge er vindutsatt er ingen overraskelse for de lokale, den best bevarte bebyggelsen og byggeskikken langs kysten i Norge stammer fra vikingene. Hvis man analyserer ett vikinghus kan man tydelig se at vikingene hadde forståelse for hvordan man skal bygge langs kysten. Byggene var plassert

slik at den dominerende vindretningen gikk langs bygget, i tillegg var inngang plassert på langsiden som sikret ett snøfritt inngangsparti. Det er ikke alltid negativt at man henter inspirasjon fra andre land. Enkelte løsninger som brukes i Norge kan forbedres og modifiseres med inspirasjon fra andre byggeskikker, men å kombinere løsninger og erstatte materialtyper krever kunnskap.



Figur 1.3. Vikingmuseet på Borge i Lofoten. Museet er bygd opp og konstruert etter funn fra vikingetiden. (Storvik.K.O)

Årlig koster byggeskader samfunnet 17 milliarder, igjennom undersøkelser utført av Sintef byggforsk er det konkludert med at 65-70 prosent av disse byggeskadene skyldes fukt (TU, 2017). Det ser også imidlertid ut til at denne trenden er økende. Det er ingen hemmelighet at Norge trenger og ansette utenlandske håndverkere for å ha nok arbeidskraft til det økende presset i byggebransjen (DN, 2018). I Norge har man en rik tradisjon på å bygge med trevirke, dette er en tradisjon som først og fremst er vanlig i Skandinavia. Mange av håndverkerne som kommer til Norge er fra land hvor det brukes lite trevirke i byggeprosessen, dette kan i enkelte tilfeller gi utfordringer. Det er for enkelt å utelukkende skylde på utenlandsk arbeidskraft, mange av byggeskadene kommer av komplisert lovverk, prosjekteringsfeil og utførelsesfeil av norske arbeidere (DN, 2017).

Byggeskader som dette har resultert i at PBL og DIBK utarbeidet en ny forskrift som trådte i kraft 1.1.2013, som ett tiltak på å redusere byggeskader. Tiltaket som ble vedtatt var at det skulle utføres uavhengig kontroll av alle bygg som går under tiltaksklasse 2 og 3. Ett av fagfeltene som inngår i den uavhengige kontrollen er bygningsfysikk. Noe av grunnen til alle byggeskadene mener Roger Andersen i Norges Takseringsforbund skyldes at det er for mange «bør-krav», disse burde heller bli erstattet av «skal-krav» for å gi ett klarere lovverk (TU, 2017).

De siste årene kan man tydelig se tegn på at klimaet og været er i forandring. Værstasjoner viser varmere årstider, mer nedbør, i tillegg til dette blir det stadig oftere ekstremvær i Norge. Det er ikke bare i Norge man erfarer vær som avviker fra normalen. Høst/vinter 2018 ble Europa rammet av svært lave temperaturer og uvanlige snømengder, ekstremværet forårsaket kaos og krevde mange i den uavhengige kontrollen er bygningsfysikk. Noe av grunnen til alle byggeskadene mener Roger Andersen i Norges Takseringsforbund skyldes at det er for mange «bør-krav», disse burde heller bli erstattet av «skal-krav» for å gi ett klarere lovverk (TU,2017).

De siste årene kan man tydelig se tegn på at klimaet og været er i forandring. Værstasjoner viser varmere årstider, mer nedbør, i tillegg til dette blir det stadig oftere ekstremvær i Norge. Det er ikke bare i Norge man erfarer vær som avviker fra normalen. Høst/vinter 2018 ble Europa rammet av svært lave temperaturer og uvanlige snømengder, ekstremværet forårsaket kaos og krevde mange menneskeliv. Samtidig som de lave temperaturene herjet i Europa opplevde man rekordhøye temperaturer i Arktis (Aftenposten, 2018a). En endring i jetstrømmene som går over Nordkalotten er grunnen til ekstremkulden. Disse sirkelvindene går normalt fra øst mot vest, enkelte ganger skjer det endringer som gjør at sirkelvindene avviker fra normalen. Det er ulike teorier på hva som har forårsaket dette, men en av teoriene peker naturligvis mot global oppvarming. Det måles stadig høyere temperaturer i Arktis, siden vi opplever en endring i klimaet i Arktis og været styres av høy- og lavtrykk er det naturlig at jetstrømmene også blir påvirket av dette (Aftenposten, 2018b). Med denne utviklingen vil det arbeidet som er startet med og sette fokus på bygningsfysikk bli enda viktigere.

1.3 Metode

Det finnes i hovedsak to metoder for innhenting av informasjon, kvalitativ og kvantitativ metode. Måten informasjonen innhentes på skiller de to metodene.

Kvantitativ metode er en metode som er målbar og kan tallfestes. Metoden brukes ofte for å teste en hypotese, om en vil finne ut om antakelser av hendelser stemmer med de innsamlede dataene. Dataene har en gjerne innhentet i form av eksperimenter eller intervjuer.

Kvalitativ metode på sin side er ikke en målbar metode, men har til hensikt å fange opp meninger, opplevelser og egenskaper. Det er vanlig å bruke metoden når man vil gå i dybden i utarbeidelsen av nye teorier og hypoteser, som videre kan utvikles i kvantitative studier.

Det er vanlig å benytte en kombinasjon av de to metodene da det er styrker og svakheter ved begge metodene. På denne måten kan man luke vekk svakheter ved metodene og dra nytte av fordelene.

1.3.1 Case-studie

I oppgaven er det valgt å benytte case-studie som metode. Case-studie er en metode for datainnsamling ved kvalitativ forskning. Metoden går i dybden på en case eller sak på norsk, og på den måten kan man skaffe seg en dypere forståelse for hvorfor noe skjedde eller er som det er.

I denne oppgaven ble case-studiet utført ved at man samlet inn informasjon i samtaler med Consto, befaringer i kombinasjon med termografering på bygget og studering av tegninger. Det ble videre plassert ut en logger i garasjelegget for å måle overflatetemperaturer, lufttemperaturer samt relativ luftfuktighet.

Byggeteknisk informasjon som er relevant for oppgaven er presentert i kapittel 4, mens resultatene fra loggingen av temperatur og relativ luftfuktighet er presentert grafisk i kapittel 5.

1.4 Mål og avgrensninger av oppgaven

Som de fleste entreprenører har også Consto opparbeidet seg egne metoder og foretrukne løsninger. Hensikten med denne oppgaven er å analysere en av Constos vanlige byggemåte for boligblokker med uoppvarmet garasjelegget. Dekkekonstruksjonen mellom oppvarmet sone og garasjelegget skal analyseres i forhold til kuldebro- og kondensproblematikk. Målet er å analysere dagens løsning, i tillegg til å finne ut hvordan ulike isolasjonsplasseringer vil endre temperaturforløpet for bygningsdelen.

Gjennom en case-studiet er det gjennomført termografering, temperatur- og RF logging ved Øvreveien terrasse på Bardufoss. Temperaturloggingen er begrenset til overgangen mellom isolasjon og hulldekke på to steder beskrevet nærmere i kapittel 4. Resultatene fra loggingen er deretter brukt i simuleringsprogrammet THERM og WUFI 2D for å analysere dagens løsning.

Som nevnt i forordet strekker arbeidet med oppgaven seg over en periode på 18 uker, noe som begrenser oppgavens omfang naturlig innenfor denne perioden. Dette gjelder særlig loggingen og simuleringene som har vært svært tidkrevende. I tillegg har loggingen vært avhengig av tilgjengelighet av loggeutstyr, da det skulle brukes av flere arbeidsgrupper.

Når det gjelder simuleringene var det fra starten ønskelig å benytte WUFI 2D på grunn av muligheten for transiente simuleringer. I utgangspunktet koster lisensen for ett år 3000 euro, noe som vanskeliggjorde bruken av programvaren. Det viste seg til slutt at det var mulig å få en 6 mnd. student lisens. Denne prosessen førte til at simuleringene med WUFI 2D ble veldig intensive over en periode på 3 uker. Det var også ønskelig å logge temperatur og relativ luftfuktighet inne i leiligheten over garasjelegget, det viste seg å være umulig uten å gjøre inngrep i konstruksjonen. Grunnlaget for relativ luftfuktighet og temperaturer inne i overliggende leilighet er derfor antatt.

1.5 Rapportens oppbygning

Rapporten er bygd opp av en hoveddel og en vedlagt del. Hoveddelen presenterer fremgangsmåten og prosessen på veien frem mot resultatene. I prosessen frem mot resultatet er det først gjort termograferinger og feltmålinger som danner grunnlaget for simuleringene, som igjen er grunnlaget for analyser av de forskjellige casene. Hoveddelen oppsummeres av en konklusjon og noen forslag til videre arbeid. Den vedlagte delen inneholder illustrasjoner slik at leseren får en dypere forståelse og grundigere forklaringer av det utførte arbeidet, og virker utfyllende sammen med hoveddelen.

Hoveddelene er delt inn som følger. Kapittel 1 introduserer arbeidet og forteller noe om bakgrunnen til oppgaven, metode som er benyttet, dens mål og avgrensninger. Kapittel 2 gir en innføring i teorien og definisjoner som er lagt til grunn i oppgaven. Kapittel 3 tar for seg vanlige feil i garasjeanlegg, samt fordeler og ulemper med kalde og varme garasjeanlegg.

Kapittel 4 kartlegges måleobjektet hvor feltmålingene er gjort, som består av termografering og klimamålinger. Kapittelet tar også for seg to befaringer samt monteringen av måleutstyret. Videre presenteres resultatet fra feltmålingene i kapittel 5. Resultatene fra kapittel 5 benyttes som input for simuleringene som er gjort, og presenteres i kapittel 6. Kapittel 7 inneholder diskusjonen for termografering, temperatur- og RF logging, simulering og observasjoner gjort under befaringer. Deretter følger kapittel 8 med konklusjon og forslag til videre arbeid.

1.6 TEK 10 og Sintef Byggforsk

TEK 10 er en byggeteknisk forskrift til minimumet de ulike bygningsdelene skal oppfylle for å være lovlig i Norge, byggeteknisk forskrift blir utarbeidet av direktoratet for byggkvalitet. TEK 10 trådte i kraft 01.07.2010, og ble erstattet av TEK 17 som trådte i kraft 01.07.2017. TEK 10 var derfor den gjeldende byggetekniske forskriften for Øvreveien terrasse.

I tillegg til minimumskravene gir også veiledningen ulike tips til hvordan bygget kan prosjekteres enda bedre, det er i mange tilfeller lønnsomt i lengden og prosjektere bygget bedre enn minimumskravet som er satt. I veiledningen benytter DIBK seg av Sintef byggforsk og Norsk Standard til eksempler på utførelse som oppfyller kravene etter gjeldende TEK. Dette er meget gode oppslagsverktøy som gir detaljerte beskrivelse på oppbygning av de ulike løsningene (DIBK, 2016).

2 Teoretisk grunnlag for oppgaven

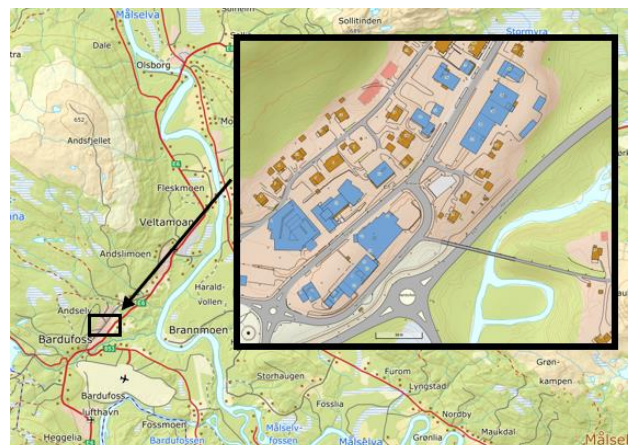
Dette kapitlet vil presentere teori og definisjoner som er relevant for oppgaven, forklaringene blir supplert med beskrivende bilder, figurer og tabeller.

2.1 Vær og klima for Bardufoss

Øvreveien terrasse som er bygget av Consto er plassert på Bardufoss i Målselv kommune. Bardufoss ligger på innlandet og klimaet preges av høye temperaturer om sommeren og svært lave temperaturer om vinteren. Kulderekorden på $-38,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ble satt 29.12.1978, og varmerecoren på $33,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ble satt 18.06.18 (Folkebladet,2018). Dette er en temperaturdifferanse på hele $71,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Disse temperaturvariasjonene er ikke noe som kan skje fra en dag til en annen, men forholdsvis store temperatursvingninger kan forekomme over døgnet, særlig i vinterhalvåret. Dette er noe som er med på å skape bygningsfysiske utfordringer.

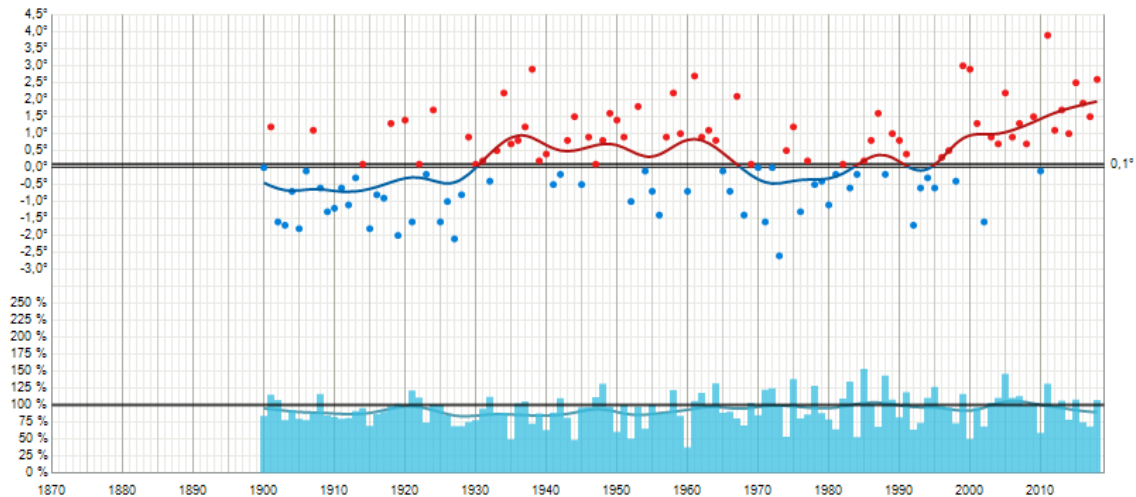


Figur 2.1 Oversiktsbilde av Norge med Bardufoss markert med Orange markør (Norgeskart, 2019)



Figur 2.2 Oversiktsbilde av Bardufoss med Øvreveien terrasse tegnet som to røde bygg øverst i det innfelte bildet (Norgeskart, 2019)

Nedbøren for Bardufoss er normalt fordelt over året, men det hender at det forekommer enkelte unntak fra år til år. Senest i juli. 2012 var områdene rundt Bardufoss preget av en periode med svært mye regn, som resulterte i flom og store ødeleggelser. I fremtiden spås det en trend med hyppigere tilfeller som dette med ekstreme værtyper, dette gjelder store temperatursvingninger, regn og vind. Fra værdata for Bardufoss er det flere dager i 2018 og 2019 der temperaturene har vært ned mot -30°C . Sommeren 2018 var det også flere korte i tillegg til en lang varmeperiode som strekte seg fra midten av juli til i starten av august, temperaturene strakk seg flere ganger over $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Yr, 2019a). Klimastatistikken som er konstruert for Nord-Norge bekrefter også at grafen er stigende, dette fremkommer spesielt for grafen som viser langtidsstatistikk for temperatur, og da i særlig stor grad for høsttemperaturene. Nedbøren har derimot ingen trend som avviker fra normalen. Det skal også nevnes at en lignende varmeperiode ble målt i 1930, men denne avtok etter en 5 års periode (Yr, 2019b).



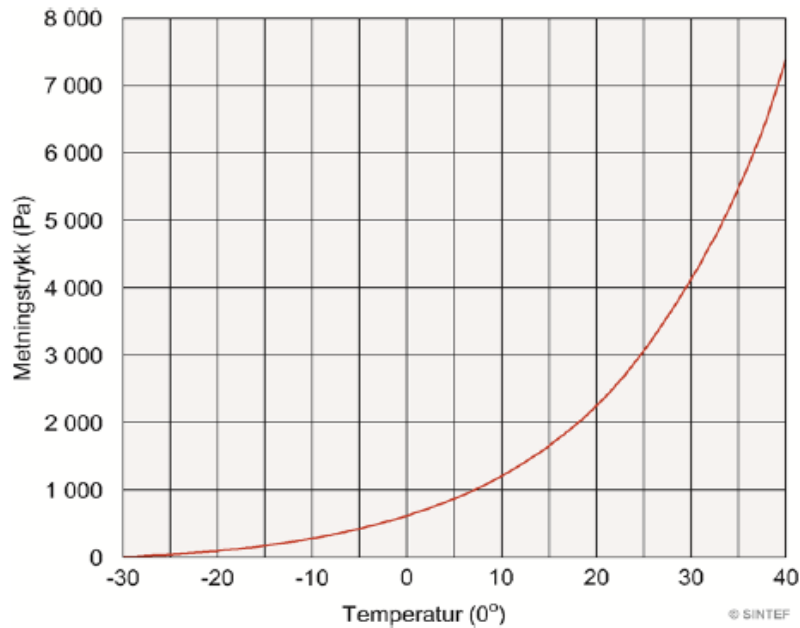
Figur 2.3 Klimastatistikk høst, for Nord-Norge. Blått stolpediagram i bunnen viser hvor mye nedbør som har falt i forhold til normalen som er markert med en tykk strek. Prikkene på grafen for temperatur viser beregnet gjennomsnittlig temperatur for årstiden. Linjen er en utjevning over 10 år. Normalen (normalperioden i dag er en 30 årsperiode, fra 1961-1990) vises som en tykk strek. (Yr, 2019b)

2.2 Fukt

2.2.1 Absolutt Luftfuktighet

Luften som omgir oss inneholder en viss mengde fukt i form av vanndamp. Det er flere forhold som er med på å påvirke luftens vanndampinnhold, det kan være værbetinget, innendørs kan matlaging, dusjing, tørking av klær og lignende påvirke luftfuktigheten. Det er likevel noen fysiske begrensninger på hvor mye vanndamp lufta kan holde på, den viktigste begrensningen i det dagligdage er temperaturen til luften. Enhver lufttemperatur har en øvre grense for hvor mye vanndamp luften kan inneholde, ved denne grensen sier man at luften er mettet, det vil si at luften har oppnådd sitt metningstrykk. Metningstrykket øker med temperaturen, det vil si at varm luft potensielt sett kan inneholde mer vanndamp enn kald luft. I figur 2.4 er vanndampens metningstrykk og temperatur framvist grafisk. Luftas vanndampinnhold kan angis på forskjellige måter (Thue, 2016):

- Vanndampens partialtrykk P_v , [Pa]= [N/m²]
- Vanndampkonsentrasjon v , [kg/m³]
- Relativt vanndampinnhold, det vil si vanndampmasse per kg tørr luft, angis ved x i [kg/kg]



Figur 2.4. Vanndampens metningsstrykk og temperatur (Sintef, 2018a)

2.2.2 Relativ luftfuktighet (RF)

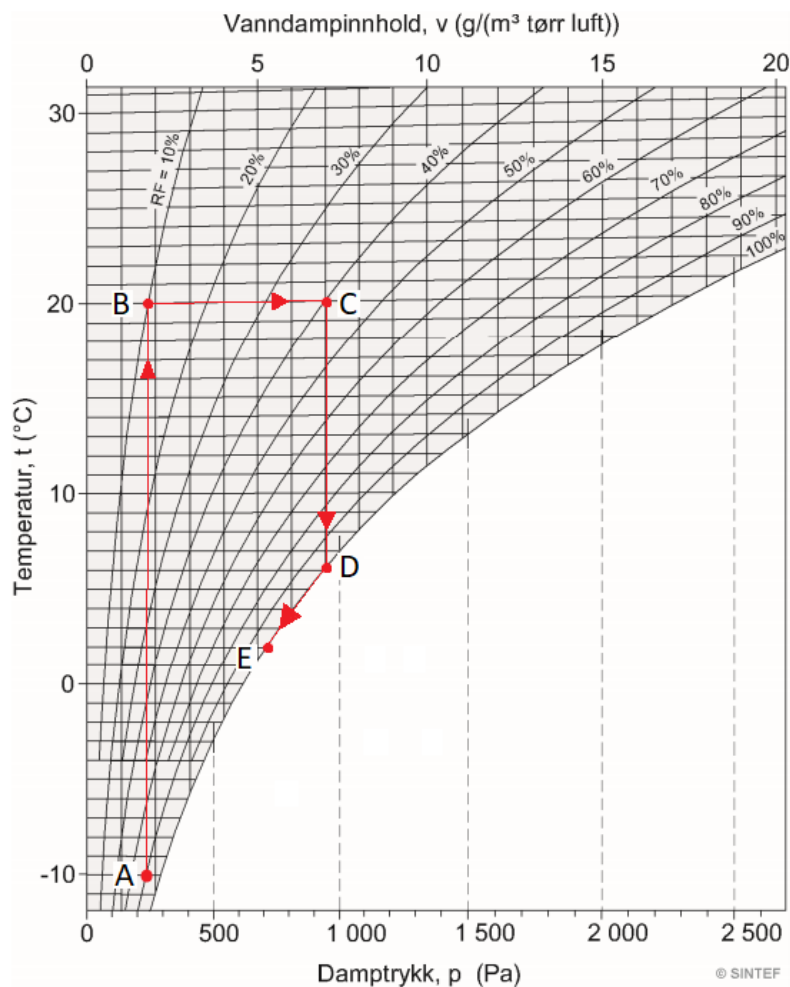
Luftens vanndampinnhold angis gjerne i forhold til metningsinnholdet ved luftens temperatur, det vil si som *relativ luftfuktighet* (RF). RF angis i prosent eller som ett tall mellom 0 og 1 av maksimalt vanndampinnhold luften kan inneholde ved en gitt temperatur. Eksempelvis om luften har en RF på 40 % ved 20 °C, vil det si at kapasiteten for fuktopptak til lufta ved 20 °C er 40 % utnyttet. Om ytterligere fukt tilføres luften og luftfuktigheten omsider kommer opp til 100 %, er luften ved 20 °C mettet og duggpunktet er nådd. Ytterligere fukt som tilføres over duggpunktet vil felles ut/ kondensere. Forklart på en annen måte er relativ fuktighet forholdet mellom vanndampinnholdet og metningsstrykket i lufta. Det er uenighet i hvor nivået til RF bør ligge, normalt anbefaler man at nivået bør ligge mellom 20 – 40 %. Man ønsker ikke ett for lavt nivå siden luften vil bli for tørr, og man kan da få følelse av tørr hud og tørre slimhinner. Om RF blir for høy øker faren for kondensering på overflater (Novakovich, Hanssen, Thue, Wangensten & Gjerstad, 2016)

2.2.3 Kondensering vist i luftfuktighetsdiagram – Mollierdiagram

Luftfuktighetsdiagrammet viser sammenhengen mellom flere parametere som er relevante ved kondensvurderinger. Temperaturen, RF, vanndampinnhold og vanndamptrykket er alle parametere som vises i luftfuktighetsdiagrammet. Om faren for kondens, eller en overslagsberegning av kondensvannmengder skal foretas er diagrammet et fint verktøy. Om luftens RF og temperatur er kjent kan også vanndampinnholdet lett finnes vha. diagrammet. Ved å studere figur 2.5 kan man følge linjene for å gjøre forskjellige betraktninger i forhold til de ulike parameterne. Eksempelvis kan man se

for seg at man kommer til hytta en kald dag i januar, det er $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punkt A) og RF 80 %, som tilsvarer et vandampinnhold på ca. $1,8\text{ g/m}^3$, både inne i hytta og ute. Etter noen timer har lufttemperaturen i hytta rukket å øke til $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Punkt B). Vandampinnholdet i luften er uendret, men RF har sunket til ca. 10 %. Tilstedeværelsen av mennesker og forskjellige aktiviteter vil føre til økt vandampinnhold i inneluften, og RF øker til 40 % (punkt C). De forskjellige overflatene på møbler, innredninger og vegger har ikke rukket å nå den samme temperaturen som luften, vi antar at overflatene er ca. $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Punkt E). Det fører til at luften i nærheten av disse overflatene blir kjølt ned, og mettet for vandamp (punkt D). Luften vil da kondensere på de kalde overflatene.

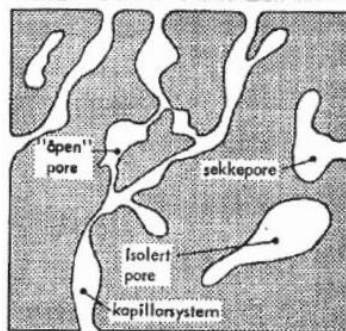
Mengden kondens i dette tilfellet vil bli ca. $(7-5,2)\text{ g/m}^3=1,8\text{ g/m}^3$. (Sintef, 2018a)



Figur 2.5. Luftfuktighetsdiagram som viser sammenhengen mellom temperatur (vertikal akse), RF (diagrammene som viser 1-100 %), vandampinnhold og damptrykk (begge på horisontalaksen) (SINTEF, 2018a)

2.2.4 Porer og poresystemer i betong

Bygningsmaterialer som er porøse inneholder porer, betong er et slikt materiale. Porene i porøse materialer har stor innvirkning på materialets fuktbinding og fukttransport. Det er tre egenskaper ved porene som avgjør egenskapene i forhold til fukt, porenes størrelse, fordeling og form. Den minste størrelsen for porer som kan inneholde fukt er begrenset ved vannmolekylets størrelse på ca. 0,3 nm, men utover det kan porene variere i størrelse med flere mm. Det skilles i hovedsak mellom kapillærsystem, åpne porer, sekkepore og isolerte porer. Kapillærsystem er langstrakte, sammenhengende og trange porer som lett kan fylles med vann, mens åpne porer og sekkepore er konsentrerte og vanskelig fylles helt med vann. Isolerte porer kan ikke oppta fuktighet i det hele tatt (Thue, 2016).



Figur 2.6. Eksempel på fordeling av porer i et porøst materiale (Sveen, S.E, 2018)

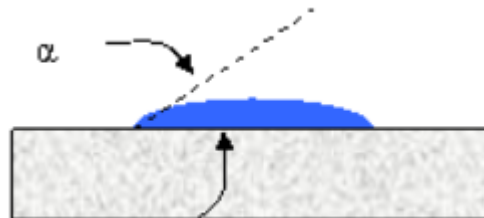
Det er ikke bare porenes utforming og utbredelse som har innvirkning på fuktbindingen i et materiale. Bindingsformen som oppstår mellom fukten og materialet spiller også inn. I hovedsak skilles det mellom kjemiske og fysikalske bindinger. I forbindelse med vanlige fuktproblemer i bygg er det naturlig å se bort ifra kjemiske bindinger og heller konsentrere seg om de fysikalske bindingene. De deles som oftest inn i tre hovedgrupper:

- Adsorptiv binding
- Kapillærkondensasjon
- Osmotisk binding

Innenfor de fysikalske bindingene er det også stor variasjon for hvilke av de tre hovedgruppene som bidrar til de kraftigste bindingskreftene. Osmotisk binding er forårsaket av redusert vandamptrykk i materialet som et resultat av salter. På grunn av at det som oftest er snakk om veldig små mengder salt, som videre fører til svake bindinger og faktumet at det er vanskelig å skille osmotisk og adsorptiv binding er det vanlig å se bort ifra denne effekten (Thue, 2016).

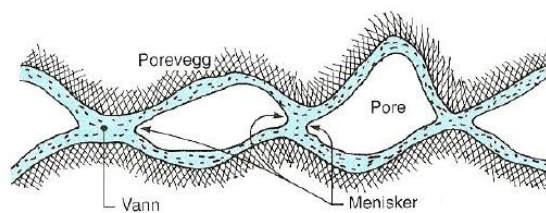
Adsorpsjon skyldes krefter mellom materialets overflatelag og porene i vannmolekylene. Det er vannets dipole struktur som gjør at vannet binder seg sterkere til materialets overflate en andre bestanddeler som befinner seg i lufta som f.eks. oksygen- og nitrogenmolekyler. Vannmolekylene

binder seg til poreoverflaten lagvis, kreftene avtar med antall lag som er bundet til poreoverflaten. Det antas at de fleste materialer vil kunne adsorbere opp til 30 molekyl lag som tilsvarer en tykkelse på ca. 10nm. tykkelsen vil likevel under spesielle forhold kunne bli betydelig tykkere, materialtype og eventuell bearbeidelse av materialer kan også kunne påvirke de resulterende adsorpsjonskreftene. Om man heller en væske på en horisontal overflate så er det adsorpsjonskreftene som gjør det mulig for væska å danne en «kul», man kan uttrykke adsorpsjonsegenskapene ved å måle vinkelen α , vist i figur 2.7 (Thue, 2016).

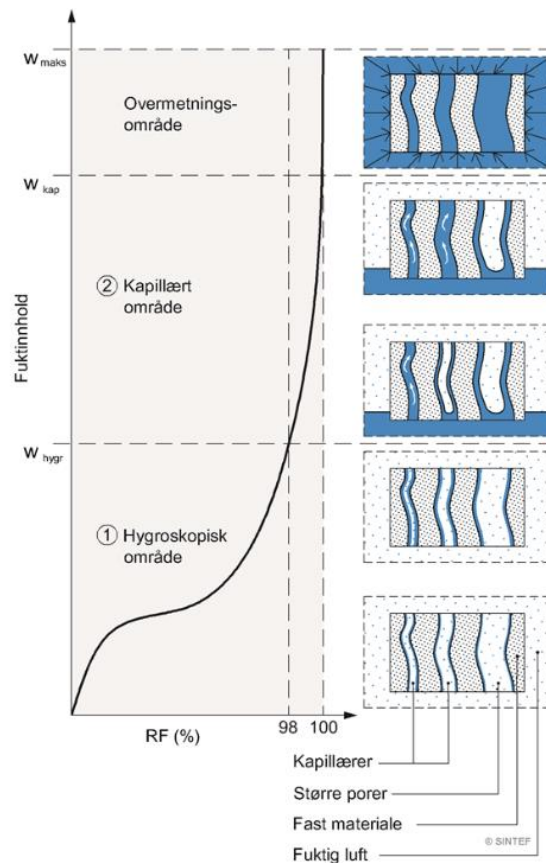


Figur 2.7. Adsorpsjonsegenskaper uttrykt ved fuktvinkel. (Bygningsfysikk, 2018a)

Man kan si at adsorpsjon er startmotoren for kapillærkondensasjon som er den bindingsformen med størst praktisk betydning for porenes vannopptak. Med andre ord fortsetter kapillærkondensasjonen bindingen av fukt hvor adsorpsjonskreftene ikke strekker til. Kapillærkondensasjon krever et kontinuerlig poresystem, slik at vannet danner et sammenhengende system. Når RF øker vil det luftfylte volumet i porene minske, helt til lagene fra hver side av poreveggene møtes, vist i figur 2.8. I overgangen mellom porene vil det på grunn av kohesjonskreftene dannes en konkav form på vannet, og to menisker dannes. Den dobbelkrummede menisken vil ha langt større bindingskrefter på de frie vannmolekylene enn de enkeltkrummede meniskene og de flate vannlagene på poreveggene. Krummingen av de doble meniskene fører til at metningsstrykket over menisken blir lavere enn det tilsvarende trykket over en fri plan vannflate med lik temperatur. På grunn av porenes små størrelser og dermed lite potensiale for fuktopptak vil kapillærkondensasjonene være neglisjerbare ved lave RF-nivåer. Derimot vil kapillærkondensasjon på RF-verdier på 80-90 % gi utslag på fuktopptaket, og i tillegg øke betydelig opp mot metningspunktet på RF lik 100 %. (Thue, 2016)



Figur 2.8. Kapillærkondensasjon i poresystemer og dannelse av doble væskemenisker. (Srisgantharajah & Ullah, 2015)



Figur 2.9. Fuktopptak i porøse materialer i bygninger. Ved siden av sorpsjonskurven er det satt opp en poremodell som er utvidet i det kapillære området. Fuktopptaket i et porøst byggemateriale skjer i to karakteristiske stadier:

1. Hygroskopisk opptak der opptaket skjer ved lagring av materialer i luft og hvor vannmolekylene bindes til poreveggene.
2. Kapillært opptak av vann fra en vannkilde (vannspeil) der små og middels store porer fylles ved hjelp av kapillærkrefter samtidig foregår vanndamptransport i de større porene som ikke er vannfylt. (Sintef, 2018a)

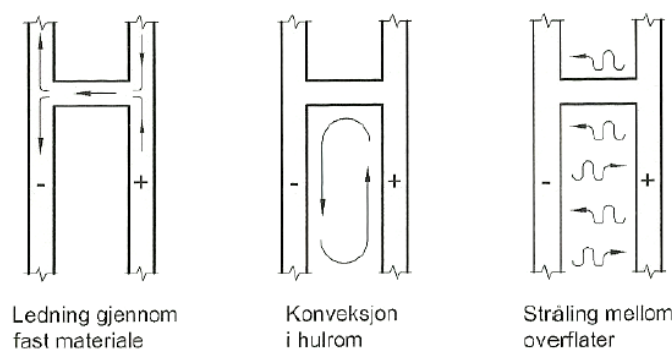
2.3 Varmetransport

De fysiske prosessene er skapt på en slik måte at «alt» prøver å komme i likevekt, dette gjør at interaksjon mellom molekyler som har høy energi gir fra seg energi til molekylene som har lav energi. Likevektsprinsippet gjelder også temperaturforskjeller. Så snart det inntreffer en temperaturdifferanse mellom overflatene i ett materialsjikt eller i en materialdel vil varmetransport inntreffe, og man får varmeledning fra varm til kald side. Det er ikke mulig å «isolere seg bort» fra varmeledningsproblemet, det vil alltid foregå varmetransport, stor eller liten. Hensikten ved å isolere en konstruksjon i forhold til varmetransport er å redusere denne prosessen for å spare energi og miljøet. Dette oppnår man ved å bruke materialer som har lav varmeledningsevne (lav termisk konduktivitet).

I ledninger hvor man leder strøm er det normalt å bruke kobber som har en termisk konduktivitet på 401 W/mK, til sammenligning har stål 50 W/mK, betong 1,35 - 2,3W/mK mens mineralull har 0,03 – 0,05 W/mK. Det brukes riktignok ikke kobber i bærende konstruksjoner for bygninger, men hovedregelen er at metaller leder energi meget godt. Man må derfor være obs. på hvordan man løser det med bærende konstruksjoner av stål og betong i bygninger, det kan blant annet føre til utstrakt kuldebroproblematikk (Thue, 2016).

Det skiller mellom tre ulike typer varmetransport:

- Konduksjon
- Konveksjon
- Stråling



Figur 2.10. Konduksjon, konveksjon og stråling, de tre formene for varmetransport i en bygningsdel (Sintef, 2018d)

I tillegg til disse tre formene for varmetransport har man også fordeling av varme i porøse materialer som blir utsatt for tilstandforandringer. Tilstandsoverganger mellom vann, is og damp frigjør store mengder energi og vil føre til utslag på den totale varmetransporten (Sintef, 2018d).

2.3.1 Konduksjon (Varmeledning)

Varmeledning ved konduksjon skjer ved en energivariasjon mellom molekyler. Konduksjon kan skje i solide stoffer, væsker og gasser. I gasser skjer konduksjon ved at molekyler kolliderer mot hverandre og avgir energi, i solide stoffer er det en kombinasjon mellom vibrasjoner mellom molekylene og energitransport mellom frie elektroner. Jo lettere elektronene beveger seg i ett materiale jo bedre leder det energi. *Fouriers varmeledningslov* forteller at Varmetransporten eller varmefluksen i en gitt retning er proporsjonalt med temperaturgradienten i materialet og motsatt rettet av temperaturgradienten. Siden Fouriers varmeledningslov beregner varmeledningen i en dimensjon under stasjonære forhold kan metoden fint brukes for overslagsberegninger på enkle konstruksjoner. Om man søker resultater som krever større nøyaktighet finnes det andre metoder som beregner

varmeledningen i to eller tre dimensjoner, gjerne også under transiente forhold. Det er naturlig å benytte ett dataverktøy for slike beregninger. (Thue, 2016)

2.3.2 Konveksjon

Varmeoverføring mellom flaten til ett solid stoff og en veske eller gass i bevegelse kalles for konveksjon. Konveksjon kan forekomme på to ulike måter etter hvilke drivkrefter som påvirker prosessen, enten naturlig eller tvunget. Hvis man setter en stekepanne på komfyren vil luften som treffer stekepannen bli varmet opp og deretter stige til vers på grunn av temperaturforskjellen som skaper oppdriftskrefter, dette fenomenet kalles naturlig konveksjon. Om man deretter plasserer en vifte på siden av den varme stekepannen vil denne tvinge luften i bevegelse langs platen, dette kalles for tvungen konveksjon. Dette er en meget forenklet forklaring av konveksjon som er det mest komplekse formen for varmeoverføring. Ved gjentatte forsøk har man funne ut at konvektiv varmetransport er proporsjonal med temperaturforskjellen mellom fluidet og overflaten. Den vanligste måten å beskrive det på er ved Newtons lov for nedkjøling. (Thue, 2016)

2.3.3 Stråling

Denne energioverføringen skjer ved elektromagnetiske bølger som et resultat av at det er ulik elektromagnetisk oppbygning mellom atomer og molekyler. Det skilles mellom opake og semitransparente stoffer i strålingssammenheng. Opake stoffer overfører ingen av de innfallende strålingene og regnes som ett overflatefenomen. For semitransparente stoffer vil noe av strålingen slippe igjennom og regnes som ett volumfenomen. Energioverførselen ved stråling skjer ved lysets hastighet, et godt eksempel på dette er varme fra solen. Hvis ikke strålingen gikk med lysets hastighet ville ikke denne rullet frem til jorden for å gi varme. I motsetning til varmeoverføring ved konveksjon og konduksjon kan varmeoverføring ved stråling skje i vakuum.

Alle solide stoffer, fluider og gasser som har en temperatur over det absolutte 0-punkt ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) sender ut, mottar eller overfører stråling i varierende grad. Ulike objekter stråler forskjellig, det er flere faktorer som spiller inn som temperatur, overflate og overflateform. Til beregning av stråling i bygningsfysiske formål antar man at strålingen er lik i alle retninger. Uten denne forenklingen blir det veldig komplisert å beregne stråling, forenklingen man gjør ved beregning av stråling er likevel ikke langt fra den faktiske sannheten Den største bidragsyteren til energioverføring ved stråling er temperaturen, dvs. totalt utstrålt energi øker signifikant ved økende temperatur. I tillegg blir bølgelengden kortere og kortere ved økende energioverføring. Det er ikke all stråling innenfor det elektromagnetiske bølgespektrumet som bidrar til varmestråling, varmestråling har bølgelengde $0,1\text{ }\mu\text{m}$ til $100\text{ }\mu\text{m}$, til sammenligning har synlig lys bølgelengder mellom ca. $0,4$ og $0,7\text{ }\mu\text{m}$. Totalt utstrålt energi øker kraftig med temperaturen (Snl, 2018).

2.4 Måling av strålingstap

Elektromagnetiske bølger fra ca. 0,7 μm til 1 μm kalles for infrarød stråling. Om en beveger seg under 0,7 μm kommer man inn i området for synlig lys på 3600 °C. Strålinger med denne bølgelengden har en ikke når det måles i bygninger, det er da behov for et hjelpemiddel til å se strålingene.

Et kamera som er konstruert for å måle strålinger til bygningsformål kalles på fagspråket for et termograferingskamera. Termograferingskamera fanger opp strålinger fra objekter. Mengden stråling avhenger av hvilken temperatur og hvordan overflate/materiale objektet består av. Det er derfor viktig og stille inn termograferingskameraet til riktig overflate/materiale om man skal ha riktig temperaturgjengivning. Metoden er likevel ingen nøyaktig måte å måle overflatetemperatur på, til nøyaktige målinger brukes andre metoder. Termografering er likevel den beste måten å kartlegge store områder på kort tid. Det gir også et godt bilde over konstruksjonen og nøyaktigheten til arbeidet som er utført. Termografering er tilstrekkelig for å avdekke avvik for konstruksjonen, det er i de fleste tilfeller nettopp dette man ønsker å oppnå med ett termograferingskamera. Områdene med avvik kan deretter måles med målemetoder som regnes for å være mer nøyaktige.

Siden det er stråling en måler under termografering må man være obs. på stråling fra omgivelsene, disse strålingene kan gi feil bilde av overflatetemperaturen man ønsker å måle. Glass og metaller er materialer som reflekterer stråling i stor grad, en annen regel er at glatte overflater reflekterer stråler godt. Man må derfor være særlig obs. ved termografering av materialer/overflater som dette. Det man kan gjøre er å dekke til området slik at det unngås forstyrrelser fra omgivelsene. Man bør også bevege seg litt frem, tilbake og til sidene for å være helt sikker på at alle forstyrrelser er utelukket.

Det er i tillegg viktig å vite at til og med en feilfri konstruksjon har temperaturdifferanser, det er derfor nyttig med erfaring når en termograferer slik at en vet hvilke temperaturdifferanser man skal se etter. NS-EN 13187 for stålingsvarmetap er en Norsk standard som beskriver fremgangsmåten for termografering på bygninger, standarden inneholder også to vedlegg som viser eksempler på termogrammer registrert på stendervegger som er «feilfrie» og stendervegg med tilsiktede. Disse to vedleggene er særlig nyttig om man ikke har den nødvendige erfaringen fra tolkning av termogrammer.

Uten noen tiltak bør termografering gjøres på innsiden av bygninger og ikke på utsiden, grunnen til dette er trykkforskjellen mellom inneluften og uteluften. Man kan velge å benytte utstyr slik at i tillegg skaper over- eller undertrykk inne i bygget, slik at luften enten blir trykket ut eller sugd inn gjennom bygningskroppen. Dette gjøres i henhold til TEK og NS-EN ISO 9972 på alle nybygg for å sjekke at konstruksjonens lekkasjetall er innenfor kravene. Det kan være en fin anledning til å termograferer innsiden eller utsiden på samme tid, avhengig om man setter overtrykk eller undertrykk på bygget. Metoden gir ikke nødvendigvis noen indikasjon på kuldebro for materialer som har høy ledningsevne, men gir en god indikasjon på lufttettheten til konstruksjonen.

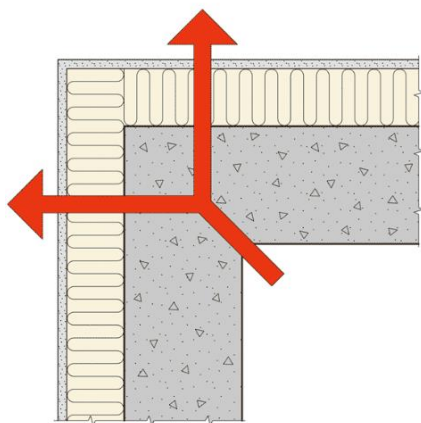
2.5 Varmelagring

Varmelagringen til et materiale henger sammen med den spesifikke varmekapasiteten til materialet. Den spesifikke varmekapasiteten til et materiale er den energien som kreves for å heve temperaturen i ett kg. materiale med 1 K. Den samme energien som er tilført materialet for å heve temperaturen med 1 K avgis ved tilsvarende nedkjøling.

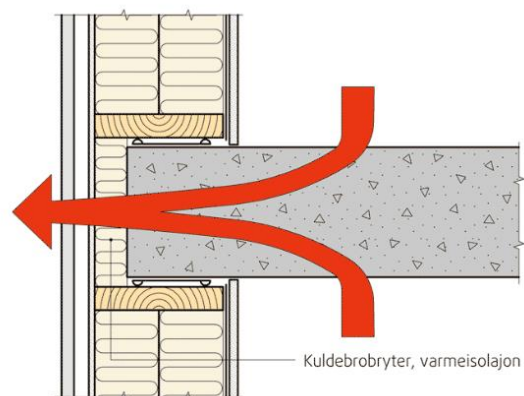
I sammenheng med bygg omtales gjerne materialene med høy varmelagringsevne som tunge materialer, betong er et klassisk eksempel på et slikt materiale. Ved å utnytte varmelagringsevnen kan betongen være med på å jevne ut temperaturvariasjoner og dermed spare energi som ellers ville blitt brukt for å enten varme opp eller kjøle ned bygget. Varmelagringen i forskjellige materialer kan også virke negativt på bygg, særlig ved værromslag kan slike materialer føre til kondensering. Det er med andre ord viktig å kjenne til de termiske egenskapene til materialer og mekanismer omkring varmelagring og fuktproblematikk når man ser på bygningsfysiske løsninger (Betongelementboka, 2017).

2.6 Kuldebro

En kuldebro er et område på bygningsdelen som har vesentlig større U-verdi enn konstruksjonen for øvrig, noe som gjør at dette området er med på å øke varmetapet til konstruksjonen. Det er kjent at varme beveger seg fra et område med høy temperatur til et område med lavere temperatur for å skape likevekt. Det er på bakgrunn av det misvisende å omtale en kuldebro for nettopp en kuldebro, ett mer beskrivende ord ville vært og omtalt det som «varmebro». For det er varme som forlater bygget gjennom kuldebroen, ikke kulde som brer seg inn. På Tysk heter det «wärmebrücke», som direkte oversatt betyr «varmebro» (Thue, 2016).



Figur 2.11. Eksempel på geometrisk kuldebro i hjørne, som er en effekt av differansen av avkjølingsflaten og oppvarmingsflaten (Sintef, 2008)



Figur 2.12. Eksempel på kuldebro hvor klimaskjermen gjennomtrenges av materialer med høy varmekonduktivitet (Sintef, 2008)

Det er til nå ikke definert en klar grense for hva som skal kalles en kuldebro, i teorien er en spiker eller en skru i en vegg en kuldebro. Det er vanlig å omtale en kuldebro som en «ekte» kuldebro om en eller flere av følgende punkter er oppfylt:

- Byggets samlede varmetap blir merkbart øket som resultat av kuldebroen.
- Lave overflatetemperaturer fører til ubehag for byggets brukere.
- Ujevne overflatetemperaturer fører til byggetekniske skader, eksempelvis kondens som felles ut på overlater som et resultat av kuldebro.
- Spenningskonsentrasjoner på grunn av kuldebroens temperatursprang i monolittiske konstruksjoner kan føre til riss- og sprekke dannelse.

Opphavet til kuldebroer kan være på grunnlag av en av disse årsakene, eller en kombinasjon av disse:

- Konstruksjonsdeler som er bygget opp med materialer som har ulik varmekonduktivitet. I en vanlig bindingsverksvegg vil treverket være en kuldebro i forhold til isolasjonen, et annet vanlig tilfelle er hvor etasjeskilleren blir en del av veggen, ofte er etasjeskilleren utført i betong og veggen utført som en bindingsverksvegg.
- Ulik materialtykkelse i vegg, for eksempel hvor en vegg skifter tykkelse.
- Geometrisk kuldebro, noen som oppstår når avkjøingsflaten er større enn oppvarmingsflaten, eksempelvis med ett utvendig hjørne.

2.6.1 Kuldebroens bidrag til U – verdi

Når det snakkes om kuldebro er det ikke alle typer kuldebroer som skal inkluderes i U-verdiregnskapet til en konstruksjon. Det skiller mellom kuldebroer som inngår og som ikke inngår i konstruksjonsdelens U-verdi. Etter veiledning fra TEK skal alle kuldebroer som er naturlig i konstruksjonsdelen være inkludert. Eksempelvis skal det i en bindingsverksvegg inkluderes stendere, forsterkninger og kubbinger rundt vinduer og dører og andre plasser hvor det er nødvendig for at veggen skal tilfredsstille øvrige krav, det samme gjelder for takkonstruksjoner. Eventuelle vinduer i samme vegg eller tak skal ikke tas med i beregningene. U-verdi skal beregnes etter NS-EN ISO 6946, standarden forteller hvilke bygningsdeler som skal inngå i beregningene av kuldebroer, selv om ikke alle bygningsdelene er med i beregningene er det begrensninger for maksimalt varmetap i øvrige bygningsdeler (Standard, 2017).

2.6.2 Konsekvenser for kuldebro

Kuldebroer kan få flere konsekvenser for ett bygg. For det første vil kuldebroen gjøre at man får økt varmetap. For enkelte tilfeller kan tapet fra kuldebroen utgjøre en relativ stor prosentandel for bygningsdelen. Varmetapet fra kuldebro er ulikt fra bygg til bygg, det er vanligvis lavere varmetap fra bygg som er prosjektert i lette materialer, det er også lettere å bryte kuldebroen for lette materialer i forhold til tunge. Det at et område har lavere varmemotstand pga. kuldebro gjør naturligvis at man får økt energitap, i tillegg følger det med flere negative bieffekter som økt fare for

overflatekondens, lave overflatetemperaturer, sverting (støvkondens) og temperaturspenninger. Den lave overflatetemperaturen gjør at det blir «ubalanse» i luftstrømmene i rommet og kan oppleves som trekk. Termisk komfort er hvordan vi mennesker oppfatter de termiske omgivelsene i rommet. Det termiske klimaet skal tilpasses bruken av rommet. Det er ikke mye variasjon som skal til for at man føler termisk diskomfort, $\Delta t_a < 3$ °C temperaturredifferanse mellom ankler og øre er nok til at man opplever ubehag. Disse problemene kan i enkelte tilfeller være lokale, men temperaturforandringen oppleves likevel så ubehagelig at man i enkelte tilfeller justerer opp lufttemperaturen. Den økte lufttemperaturen gjør at man får enda større varmetap gjennom konstruksjonene enn det man opprinnelig hadde. Det man i tillegg får inn som et faremoment ved å heve temperaturen er at den varme inneluften er i stand til å holde på mere fuktighet. Dette er svært uheldig siden det er kjent at kuldebroer øker faren for at det felles ut kondens i konstruksjonen og kan resultere i muggsopp og råte (Thue, 2016).

2.7 Vanlige betongskader

2.7.1 Klorider

De fleste klorider løser seg lett i vann, om en slik løsning av kloridsalter og vann er i kontakt med betongoverflaten vil den trenge inn i betongen ved hjelp av kapilærsug eller diffusjon. Kapilærsuget forsterkes om betongen er utsatt for gjentakende tørking og fukting, vannet i betongens overflate vil da fordampe mens kloridene blir værende igjen. Og siden vannet er tørket ut blir betongen mer mottakelig for kapilærsug ved neste mulighet. Når kloridinnholdet i betongen overstiger 1 % av sementvekten er faren for armeringskorrosjon stor. Armering som korroderer trenger mer plass, og sprenger dermed ut betongen. I starten vil det sees som riss og sprekker i betongens overflate, gjerne i kombinasjon med rødt vann. Etter hvert som korrosjonsangrepet blir verre vil biter av betongen falle av og armeringen vil bli synlig. Før 1980 var det ikke uvanlig å bruke fjæresand som tilslag i betongen, det var også vanlig å bruke salt for å fremskynde herdingen, særlig på prefabrikkerte produkter. Man tilsatte da klorider i betongen uten å være klar over hvilke prosesser man satte i gang inne i betongen. I dag er kunnskapen på et høyere nivå, og slike feil unngås, kloridene i dagens betong kommer stort sett fra ytre miljø. Eksempler på kloridtilførsel i dag kan være konstruksjoner i nærheten av kysten, marine konstruksjoner og veisaltning (Sintef, 2009).

2.7.2 Karbonatisering

Reaksjonen mellom herdet betong og CO₂ kalles karbonatisering. Prosessen starter når betongen kommer i kontakt med luft, og kan beskrives som en aldringsprosess. Prosessen rammer hele konstruksjonen, i motsetning til klorider som kan ramme lokale deler av konstruksjonen. Karbonatiseringsprosessen går hurtigere i starten og avtar jo lengere inn i betongen prosessen kommer. Under vann og i eventuelle lufttette sjikt er betongen skjermet fra CO₂, og blir dermed heller ikke rammet av karbonatisering. Karbonatiseringsprosessen binder CO₂ fra luften som omgir betongen, prosessen inne i betongen danner CaCO₃ som resulterer i at PH-verdien på porevannet i betongen

synker til under 10. Det stedet inne i betongen hvor PH-verdien er 9,5 kalles karbonatiseringsfronten, det er ikke ønskelig at denne fronten når inn til armeringen i konstruksjonen. Det vil forårsake at den beskyttende filmen som ligger rundt armeringen forsvinner og PH-verdien synker under 9,5, og armeringen er i fare for korrosjon. Korrosjonene vil på samme måte som ved klorider sprengte ut betongen, og til slutt blottlegge armeringen. (Sintef, 2009).

2.7.3 Alkaliereaksjon

Alkaliereaksjon er en kjemisk prosess som skjer inne i betongen i reaksjon med vann. Måten dette kan skje på er om man bruker bergarter som inneholder kvarts (SiO_2) i betongen, reaksjonen mellom kvarts, alkalier (Na^+ , K^+) og vann (H_2O) danner gel. Gelen trekker på vann og dette gjør at den vokser, til slutt vil trykket bli så stort at man får rissdannelser på betongoverflaten. Rissene vil «åpne» opp betongen og gjøre det enklere for andre skademekanismer og komme til. Rissene vil også gjøre at vann kommer lettere til og kan føre til tine-fryse sykluser sprenger ut betong (Sintef, 2007).

2.7.4 Salt- og kalkutslag

Saltutslag kommer av fukt som trenger igjennom veggen fra yttersiden av f.eks. grunnmuren. Salt kan løse seg opp i vann og vannet som trenger igjennom veggen inneholder derfor ofte vannløselige salter. Når vannet fordampes etterlater det seg saltene, om saltene får nok tilgang på fukt kan de danne saltkrystaller på overflaten. Kraften ved dannelsen av saltkrystallene er nok til å sprengte ut puss og mørtelen fra veggen. Man kan også se enkelte plasser at malingen blærer ut. Salten som etterlates på overflaten lar seg enkelt fjerne med børstning, årsaken til problemet fjernes imidlertid ikke ved fjerning av saltutslaget.

Kalkutslag kommer også av vann som trenger igjennom betongens porer. Vannet oppløser delvis kalken som befinner seg i betongen, og trekker dermed den oppløste kalken med seg mot betongens overflate. Når vannet fordampes etterlates det ett hvitt støv på betongens overflate. Det hvite støvet sitter godt og lar seg ikke fjerne like enkelt som saltutslag.

Salt- og kalkutslag er ikke helsefarlig, men signaliserer likevel at det er ett fuktproblem som skyldes vann som kommer i fra grunnen pga. dårlig drenering eller manglende fuktsperre utvendig (Sintef, 2006).

2.8 Betongoverdekning og eksponeringsklasse

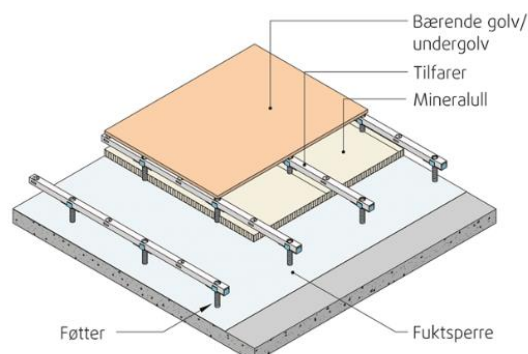
Betongoverdekningen er avstanden fra overflaten til betongen til armeringsfronten. Opp igjennom tiden har det vært varierende krav på overdekning. Overdekning er svært viktig når man dimensjonerer en betongkonstruksjon siden det er denne avstanden som bestemmer avstanden for klorider og karbondioksid. Hvis man ønsker at en betongkonstruksjon skal vare må man derfor øke overdekningen.

Dette koster selvsagt penger, det er normalt at man justerer opp betongoverdekningen for dyre bygg. Et eksempel er operaen i Oslo som er dimensjoner for 300 år (Statsbygg, 2019), og da er eksponeringsklassen også tatt i betraktning. Eksponeringsklasse er også ett viktig element når man dimensjonerer en betongkonstruksjon. Eksponeringsklassen har innvirkning på hvilken type betong man må velge og minimumsoverdekning på betongkonstruksjonen for å oppnå planlagt levetid. Alle betongkonstruksjoner blir utsatt for ulike miljøer, de ulike eksponeringsklassene finner man i tabeller. Hær er det ulike punkter man må gå igjennom og til slutt ender man opp med overdekning og betongtype.

2.9 Dekkekonstruksjon

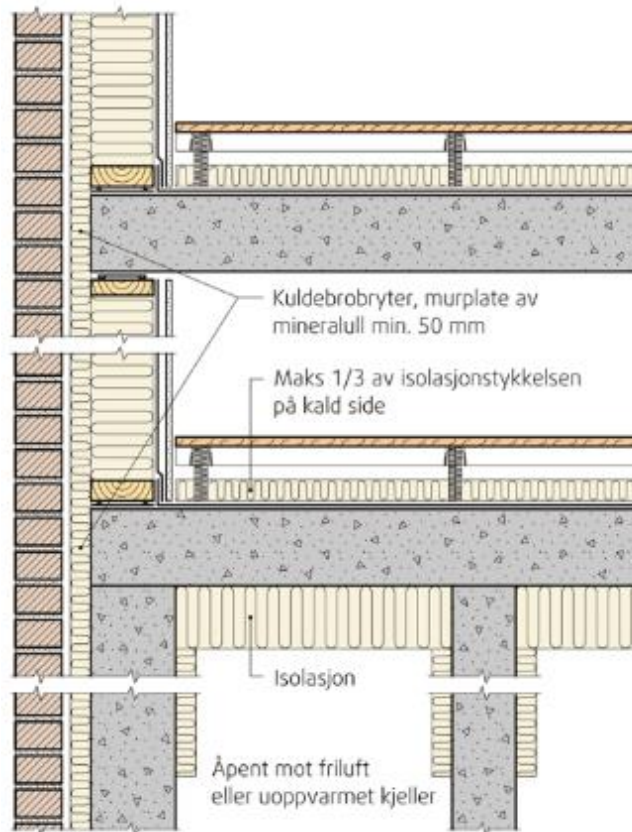
Prefabrikkerte betongelementer er bygningsdeler produsert i innendørs industrilokaler under et kontrollert klima for optimale herdeforhold, elementene er utført i armert betong. Det er mange produkter som prefabrikeres i betong til dagens marked, alt fra kummer og rør, til belegningsstein, fasadelementer med isolasjon og bygningselementer. I kategorien bygningselementer inngår hulldekker, søyler, bjelker og veggelementer. Prefabrikkerte betongelementer har vært brukt i Norge siden 50-tallet. Og i de siste tiårene har bruken av betongelementer utviklet seg sterkt. Den foretrekkende metoden før betongelementer ble et alternativ var plasstøpt betong. Historisk sett har byggebransjen vært kjent for å være noe konservativ når det gjelder nye løsninger og produkter, man endret ikke på noe som fungerte utmerket. Med tiden har presset med flere aktører både fra inn og utland gjort at nytenkning og et åpent sinn i forhold til nye metoder og produkter er en nødvendighet. Når det gjelder betongelementer har det vist seg å være en rasjonelt, økonomisk og tidsbesparende byggemetode (Vinje, L & Alexander, S, 2004).

På Øvreveien Terrasse er det brukt hulldekker med Granab tilfarergulv. Sintef Byggforsk har et eget byggedetaljblad med anbefalinger for tilfarergulv i nye og eksisterende bygg (Sintef, 2009b). Tilfarergulv er en type gulv som brukes over bærende gulv, og kan være ferdiglaget systemgulv eller plassbygd. Tilfarerne er festet til det bærende gulvet og bundet sammen med rekker av tre eller stålprofiler. Tilfarergulv kan benyttes i kombinasjon med flere typer bærende gulv, for oppgaven er det aktuelt å se nærmere på systemgulv i stålprofiler kombinert med hulldekker. Prinsippet for oppbygningen av tilfarergulv er vist i figur 2.13 (Sintef, 2009b).



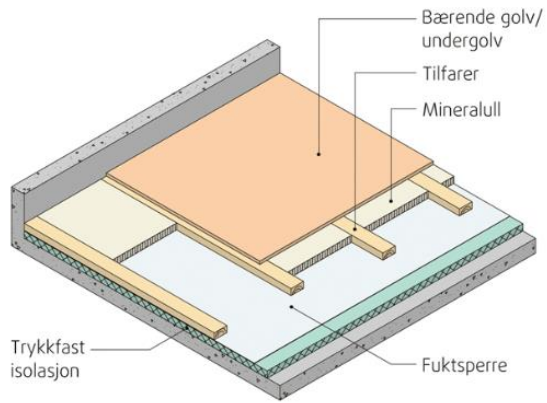
Figur 2.13. Eksempel på tilfarergulv produsert som systemgulv (Sintef, 2009b)

Videre følger det anbefalinger for mengde og plassering av isolasjon for å unngå kondens- og muggsopproblematikk. På grunn av kondensfaren anbefales det ikke mer enn 1/3 av isolasjonstykkelsen på kald side under tilfarergulvert. Det anbefales heller ikke å isolere i tilfarergulvert uten å isolere fra kald side. Isolasjonstykkelsen under tilfarergulvert styres med andre ord langt på vei av isolasjonstykkelsen som er på kald side. På avslutningen av dekket mot yttervegg bør dekket isoleres med minimum 50 mm isolasjon for å bryte kuldebroen. Se figur 2.14 (Sintef, 2009b).

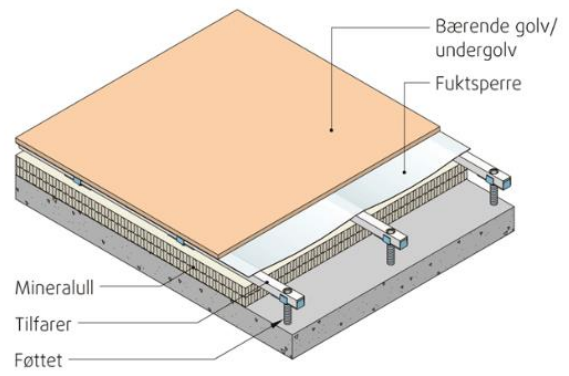


Figur 2.14. Anbefalinger for plassering av isolasjon på dekke mot uoppvarmet areal eller friluft (Sintef, 2009b)

Selv om det ikke er anbefalt å isolere mellom tilfarerne med mer enn 1/3 av isolasjonstykkelsen på kald side, så finnes det prinsipper man kan følge for å øke mengden isolasjon mellom tilfarerne på. For plassbygde tilfarergulv kan gulvet bygges på ett lag med trykkfast isolasjon, i dette tilfellet plasseres fuktsperren mellom tilfarerne og isolasjonen. Se figur 2.15. For systemgulv som består av fuktsikre materialer kan fuktsperren plasseres over tilfarerne. Ved valg av denne løsningen er det særdeles viktig å forsikre seg om at betongen har RF under 90 % slik at ikke fukt ikke stenges inne mellom betongen og dampsperran, se figur 2.16 (Sintef, 2009b).



Figur 2.15. Eksempel på systemgulv (fuktsikre materialer) med økt isoalsjonstykkelse (Sintef,2009b)



Figur 2.16. Eksempel på systemgulv (fuktsikre materialer) med økt isoalsjonstykkelse (Sintef,2009b)

3 Bygningsfysikk i garasjeanlegg

I dette kapittelet beskrives fordelene og ulemmene med kalde og varme garasjeanlegg, i tillegg presenteres flere kjente problemer og problemområder ved slike garasjeanlegg.

Etter TEK 10 er det ingen krav om hvor mange parkeringsplasser det skal være per boligenhet, det foreligger kun en veiledning om at oppstillingsplasser må prosjekteres etter forventet bruk og besøk. De ulike kravene for antall parkeringsplasser utarbeides i reguleringsplanen til de ulike kommunene. Det normale ligger på 0,8-1,0 per boligenhet i byer og 1,0-1,3 utenfor bykjernen. For at byggeprosjekter skal være mest mulig lønnsom tilstreber man å utnytte mesteparten av tomten til boligformål. Siden det foreligger reguleringer for byggehøyden er derfor naturlig å plassere parkeringsanlegget under selve bygget, åpent, delvis nedfylt eller helt nedfylt. Når man skal planlegge ett garasjeanlegg har man to valg:

- Oppvarmet garasjeanlegg
- Uoppvarmet garasjeanlegg

3.1 Fordeler og ulemper med oppvarmede- og uoppvarmede garasjeanlegg

Det som skiller disse to løsningene, er at kalde garasjeanlegget ikke har noen form for oppvarming. Det som er viktig og tenkte på er at selv om et garasjeanlegg ikke er oppvarmet kan det ha temperaturer som ligger over 0 °C hele året, i hovedsak skyldes dette tilskuddsvarme fra omkringliggende bygningsdeler. De to ulike garasjeanleggene har begge sine fordeler og ulemper. Oppvarmede garasjeanlegg har flere positive sider som f. eks:

- Mindre sjanse for kuldebro mellom garasjeanlegget og 1.etg.
- El. biler vil lade raskere
- Mindre utslipp og lavere drivstofforbruk fra biler
- Mindre motorslitasje
- Økt komfort
- Mindre sannsynlighet for kondens på bygningsdeler

Det er også negative sider med oppvarmet garasjeanlegg. Om vinteren når biler kommer inn for å parkere er de kalde, i enkelte tilfeller kan bilene være så kalde at den oppvarmede luften i garasjeanlegget kondenserer på understellet og ellers på bilen. I tillegg er enkelte deler av bilen fortsatt varme f.eks. girkasse, motor og drivverk dette er med på og smelte snø som er i kontakt med disse komponentene. Dette gjør at fuktigheten i rommet øker og i tillegg blir bilen og understellet fuktig. I kombinasjon med veisalt og skitt som befinner seg ellers på bilen er dette ideelle forhold for rustdannelse. Det er derfor veldig viktig å tenke på ventilasjon og lufting om man velger ett oppvarmet garasjeanlegg, det er også en fordel og installere en fuktmåler inne i garasjeanlegget slik at

Luftfuktigheten kan kontrolleres. Noe annet som kommer utenfor det byggetekniske er at det er viktig å vaske bilen ofte om vinteren for å forhindre at salt og skitt får ligge over tid og korrodere. Selv om en bil er ny og har rustbeskyttende behandling kan det også hær være avvik i produksjonen/utførelse som har gjort at enkelte områder ikke er utført som planlagt og gir svakheter for rustdannelse. Skader som dette er kostbare å reparere, i tillegg kan rustdannelse på enkelte bilkomponenter være direkte farlig.

Som de positive sidene speiler, kan ett oppvarmet garasjeanlegg være bra om det er prosjektert riktig. Det aller viktigste for et oppvarmet garasjeanlegg er ventilasjon og at man sikrer seg god utlufting, som nevnt tidligere er også rengjøring av bilen veldig viktig. I garasjeanlegg for yrkeskjøretøy er det derfor ofte en vaskehall i tilknytning til parkeringsområdet. Et vannuttak plassert inne i ett garasjeanlegg gir ett krav om oljeutskiller, kravet gjelder også for private boliger. Med etablering av oljeutskiller følger en rekke ulike krav som er fastsatt fra de ulike kommunene. Kravet fører derfor til at vannuttak ofte plasseres på yttersiden av garasjeanlegget (Lovdata, 2005). Et vannuttak på utsiden av bygget gjør at anbefalingene om å rengjøre bilen grundig ikke blir gjort ila. vinterhalvåret, og det er denne tiden det er viktigst at bilen er ren og fri for salt. Man må da i realiteten dra til en bensinstasjon eller ett annet sted med vaskemuligheter for å spyle vekk salt fra bilens karosseri og understell for å unngå rust.

Et uoppvarmet garasjeanlegg har ikke de samme problemområdene som et oppvarmet garasjeanlegg, men også hær har man utfordringer. Utfordringene i et kaldt garasjeanlegg er blant annet relatert til kuldebroer til eventuelle omkringliggende leiligheter eller andre oppvarmede konstruksjoner, og lave overflatetemperaturer på garasjeanleggets innside. Kuldebroene kan man bryte på ulike måter, på Øvreveien terrasse har man løst kuldebroproblematikken ved at man isolerer fra garasjeanleggets innside. På alle prosjekter spiller økonomi inn, det er derfor ønskelig å isolere tilstrekkelig til å bryte kuldebroen og oppfylle energikrav.

3.2 Tekniske installasjoner i kalde garasjeanlegg

En annen utfordring som man må ha i bakhodet når man planlegger et bygg er de tekniske installasjonen som man må ha i bygget. I de fleste tilfeller må disse bryte overgang mellom garasjeanlegget og oppvarmet del. Dette er detaljer som kan resultere i kuldebro om de ikke planlegges og utføres riktig. Det er ulike årsaker til at man isolerer tekniske installasjoner, noen eksempler for dette er:

- Begrense varmetap
- Få minst mulig variasjon mellom overflatetemperaturer og omgivelse
- Isolere for ønsket temperatur ved utløp
- Ivareta de fluide egenskapene til mediet
- Hindre frysing
- Unngå kondens på innside av røret eller utsiden
- Støyreduksjon

Isolering av tekniske installasjoner krever materialkunnskap. Kalde rør skal isoleres med cellegummi og varme rør skal isoleres med rørsåler av f.eks. Glava med aluminium på yttersiden. Forveksling mellom isolasjonstypene kan bli svært kostbare, følgene for dette vil man ikke merke umiddelbart. Men over tid vil varmen gjøre cellegummien porøs og cellegummien vil miste isoleringsegenskapene sine. Dette vil føre til økt varmetap for det varme vannet, det kan også føre til at luften inne i veggene øker og kondenserer mot kalde overflater.

Også sprinkling av kalde garasjeanlegg må prosjekteres annerledes enn varme garasjeanlegg. Øvreveien terrasse er prosjektert med et tørt sprinkelanlegg med sprinklersentral inne på oppvarmet teknisk rom. Dette fungerer ved at røret er trykksatt, når dysen blir utløst faller trykket og sprinklerventilen åpnes slik at vann blir sluppet på røret.

3.3 Vanlige skader i garasjeanlegg

3.3.1 Vannansamling, klorider og karbonatisering

Miljøet inne i garasjeanlegg kan til tider være tøft for materialene og bygningsdelene siden biler drar med seg salt, i tillegg kan det foregå gjentatte fryse og tine sykluser. I tillegg til dette får man slitasje fra piggdekkene til biler som sliter ned slitebelegget på betongen. Det er viktig at man tilfører nytt slitebelegg før dekkene til bilene når ned til betongen. Hvis piggdekkene får mulighet til å slite på betongen minker overdekningen til armeringen, avstanden for klorider og ned til armeringen blir kortere enn opprinnelig. Kloridene kan komme seg inn i garasjeanlegget og i/på betongen på to måter. Enten kan den komme fra starten av, når betongen ble støpt, ved prøver av betongen vil da klorider være jevnt fordelt. Den andre måten klorider kan komme seg inn på er fra biler som drar salt med seg inn i garasjeanlegget. Om man tar prøver av betongen vil man da se at kloridinnholdet er størst mot overflaten av betongen. For garasjeanlegg over flere etasjer og med betongdekker som ikke har vannrette overflater kan man se høyt kloridinnhold på dekkets overside, men man kan også se høyt kloridinnhold på dekkets underside. Måten dette skjer på er at vann og klorider trekker ned i betong over tid og fordampes ut på undersiden av betongen (Sintef, 1997b).



Figur 3.1. Skader på betongkonstruksjon som følge av armeringskorrosjon (Foto: Rambøll Norge AS)

Områdene med høyt kloridinnhold vil være rett innenfor porten og vil følge der bilene kjører, det vil også være en økt andel der biler står parkert. Det er derfor veldig viktig at garasjeanlegg har tilstrekkelig med sluker og nok fall slik at vannet renner av dekket effektivt og ikke blir liggende over tid, slik at det får mulighet til å trekke ned i betongen og deretter ned til armeringen. I byggeteknisk forskrift foreligger det ingen krav til sluk eller at det skal være sluk i garasjeanlegg, det er heller ingen krav om at garasjegulvet skal være tørt. Der det stilles krav er for personsikkerhet, atkomst og brukbarheten av bygget. Store vannansamlinger vil begrense bruken for enkelte brukere som f.eks. bevegelsehemmede og hvis ledelinjen til svaksynte ligger midt i en vannansamling. Det vil også påvirke personsikkerheten om vannet fryser. At det ikke foreligger noe krav om sluk i garasjeanlegg er rart, vannansamlinger fører med seg så mange potensielle problemer og farer. Ikke bare for dekket, også luftfuktigheten vil øke inne i garasjeanlegget når vannet fordampes. Den økte luftfuktigheten øker faren for kondensering på tekniske installasjoner, innvendige overflater og biler (Sintef, 2018b).



Figur 3.2. Vannansamling på betongdekke inne i garasjeanlegg (Sintef, 2018b)

3.3.2 Vannskader og følgeskader

De vanligste fuktskadene stammer fra fuktig inneluft og skader fra et utett ytterskall. Men man må ikke glemme fukten som kommer fra grunnen. Siden oppgaven omhandler et garasjeanlegg skal det ikke inkluderes fukt fra bad, kjøkken og andre fuktutsatte rom inne i boligdelen av bygget. Det skal i hovedsak fokuseres på fukt som kan trenge gjennom garasjeanleggets betongvegger og fukt som kommer av kondens. Fukt kan trenge igjennom betongvegger på fire ulike måter:

- Vanntrykk på grunn av dårlig drenering
- Kapillærsuging
- Vannlekkasje fra overvann som ligger mot grunnmuren
- Diffusjon

Fukten som beveger seg i materialer kan bevege seg i dampform og/eller i væskeform. Når RF overstiger 98% er de kapillære porene fylt og markerer overgangen fra det hygroskopiske området til det kapillære området nevnt i kapittel «2.2.4 «Porer og poresystemer i betong» figur 2.9. Det er flere grunner til at fukt i konstruksjonen ikke er bra, eksempler på det er raskere nedbrytning av materialer i form av kjemisk nedbrytning og korrosjon. I tillegg fører fuktighet til at det øker faren for skadedyr og vekst av mikroorganismer på overflater. Endringer i form og volum til materialer er ikke noe som er relevant for et garasjeanlegg i betong, som ikke har noen merkverdig endring i form og volum ved økt fuktinnhold. Dette er noe som er mer relevant for materialer som trevirke og andre porøse materialer (Sintef, 2018c).

Et tegn som kan tyde på fukt fra utsiden er avflassing av maling, det kan være flere andre grunner til avflassing også som:

- Konstruksjonene har ikke fått tørket ut før overflatebehandling
- Overflatebehandling påført på kald overflate
- Overflate utsatt for fukt over tid fra innsiden

Alle nevnte årsaker er interessant når man undersøker et garasjeanlegg. For å avdekke om avflassing stammer fra fuktighet fra utsiden har man behov for å ta prøver av betongen. Måten dette gjøres på er at man borer hull i betongen ved ulike dybder og plasserer målehylsen i betongen ved de ulike dybdene. Disse målerne kalibreres opp mot RF inne i rommet. Ved å lese av de ulike verdiene kan man finne ut hvor langt fuktigheten trengt inn i veggen, og om denne kommer fra utsiden eller innsiden av konstruksjonen.

Det finnes også andre typer betongskader som vises tydelig på overflaten til betongen og er forårsaket av fukt, alkalireaksjon, salt- og kalkutslag er alle slike skader.



Figur 3.3. Fuktskader på betongvegg inne i garasjeanlegg (Norentrepenor, 2010)

Betong har en varmekonduktivitet på 2,5 W/mK og er definert som en tung konstruksjon (Sintef, 2003a) dette gjør at det er en viss tregghet i bygningskonstruksjonen ved temperaturforandringer. Dette gjør at ved en rask temperaturøkning kan det resultere i at varm luft kondenserer mot betongoverflaten som ikke har rukket å henge med på den raske temperaturøkningen. Temperaturforandringer som forårsaker kondens på overflater kan i teorien skje hele året. Om dette skjer en sjelden gang trenger det likevel ikke og være farlig, men det er viktig at det får tørke skikkelig mellom hver gang det eventuelt felles ut kondens på overflater. Om dette er noe som skjer ofte slik at overflaten får være fuktig i lengere perioder er det ikke bra. Kondens på en konstruksjon er et tegn på at man bør se nærmere på problemet.

Også ventilasjon er særdeles viktig når man undersøker de vanlige skadeårsakene i ett garasjeanlegg. For mange av skadene er vann og høy fuktighet involvert, også andel skadedyr øker med høyere RF, selv om enkelte unntak finnes som rotter og smågnagere. For å få ut den fuktige luften og tilføre ny luft trengs det derfor ventilasjon. TEK17 stiller krav om at det skal være tilstrekkelig ventilasjon og eksosgasser skal ikke kunne trenge inn i andre deler av bygget. Men hva som er tilstrekkelig står det ikke noe om, det er altså ingen anbefaling for antall luftskift av luftvolum per time eller maksimal RF. Regler og anbefalinger som har rom for tolkning har i mange tilfeller kritisert og har tidligere vært grunnen til mange byggeskader opp igjennom tiden. Det finnes ikke mye litteratur som omhandler fuktskader i større garasjeanlegg hvor dårlig ventilasjon blir nevnt som årsak til problemet. Problemet ligger i de fleste tilfeller som en kombinasjon av flere uheldige tilfeller.

Noe som er veldig relevant for garasjeanlegg er vekst av mikroorganismer, grunnen til dette er at et garasjeanlegg i nyere leilighetsbygg også blir benyttet til oppbevaring av utstyr. I TEK10 er det ett krav om at «Bod eller oppbevaringsplass må være lett tilgjengelig for plassering av utstyr som benyttes ute.» (DIBK, 2013). Siden disse bodene opprinnelig er små, ønsker man naturligvis å utnytte plassen best mulig. Det vil da være naturlig og støtte utstyr opp mot veggene i boden. Dette resulterer i at lufta blir stående stille mot veggene slik at muligheten for fukt øker. Hvis denne fukten får stå over tid kan det dannes muggsopp og andre mikroorganismer. Det er varierende hvor mye fuktighet de ulike mikroorganismene krever, de vanligste typene krever over 80% RF og temperaturer over 0 °C for å vokse. Jo høyere RF og temperatur jo flere typer muggsopp vil kunne vokse og trives. I tillegg til at flere typer muggsopp trives ved økende RF så vokser også soppen raskere ved økende RF, hastigheten variere også med temperaturen. Måleperioden for denne oppgaven var fra 07.03 til 27.03. Ila. denne perioden var høyeste målte temperatur inne 7,7 °C. Om sommeren vil denne temperaturen bli høyere, det vil derfor være mulighet til at muggsoppen vokser raskere (Sintef, 2005). Veksten av mikroorganismer kan også komme fra fukt som trenger igjennom konstruksjonen utenfra. Det er derfor veldig viktig at man ikke dekker til betongvegger som er nedfylt slik at sikrer at betongen får mulighet til å «puste».

4 Kartlegging av måleobjekt

I dette kapitlet kartlegges Øvreveien terrasse hvor det er gjennomført to befaringer og feltmålinger. Teknisk data på bygningsdeler og materialer vil nevnes i kapitlet, i tillegg til at områdene hvor loggingen av klimadata og detalj for simulering beskrives.

4.1 Øvreveien terrasse

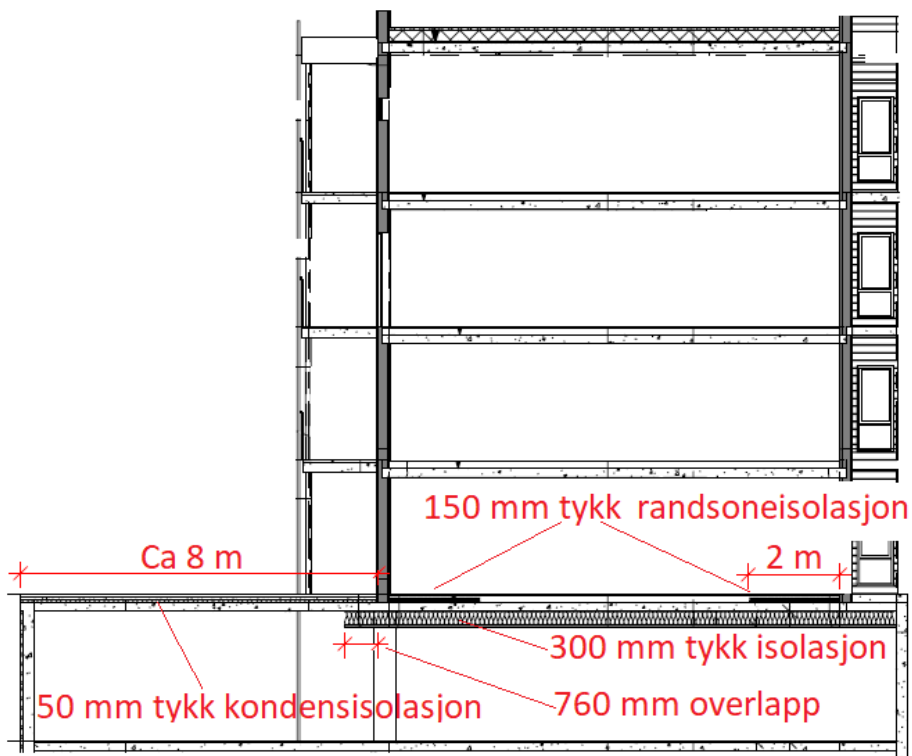
Øvreveien terrasse er en boligblokk med 32 leiligheter fordelt over fire etasjer, i kjelleren er det parkering og boder for alle 32 leilighetene. Boligblokken står i Sentrum av Bardufoss, og ble i november 2017 overlevert til byggherre av totalentreprenør Consto. Kun tegningene av kjelleretasjen og første etasje er studert under kartleggingen av bygget, grunnen til dette er at de øvrige etasjene sannsynligvis ikke vil påvirke målinger og simuleringer (Consto, 2019b).



Figur 4.1. Øvreveien terrasse (Foto: Emil Pettersen)

4.1.1 Garasjeanlegget

Bæresystemet i garasjekjelleren består av betongsøyler, betongbjelker og bærende yttervegger av betong. Ytterveggene er plasstøpte og 250 mm tykke. Gulvet i garasjeanlegget er steinlagt, under er det bygd opp med drenerende masser og et avrettingslag av grus, det er ikke isolert i grunnen. Over garasjeanlegget er store deler av arealet utnyttet til leiligheter, bortsett fra ca. 8 meter fra bakveggen og inn i garasjeanlegget i hele byggets bredde. Dette arealet benyttes til uteareal for beboerne. Taket i garasjeanlegget er isolert fra undersiden for de områdene det er leiligheter over, isolasjonen er trukket ca. 760 mm inn mot bakveggen hvor det er uteområde over, se figur 4.2. Det er benyttet 300 mm mineralull fra underside som er bygget inn med systemhimling, delen av taket hvor det er uteområde på oversiden er det isolert med 50 mm kondensisoalsjon på oversiden av taket. Garasjeanlegget ventileres vha. vifter i fasadens front som trekker luft ut av garasjeanlegget. Luften som trekkes inn i garasjeanlegget varmes dermed ikke opp.



Figur 4.2. Snitt av Øvreveien Terrasse sett fra siden. Isolasjonen rundt garasjeanlegget samt randsoneisolasjonen er vist på figuren. Uteområdet som strekker seg 8 meter ut over garasjeanlegget på byggets bakside er også vist på figuren. (Tegning: Bjørn Anders Pettersen)

4.1.2 Første etasje

I første etasje består bæresystemet av gavlvegger og skillevegger mellom leilighetene av betong. Gavlveggene er 200 mm tykke betongvegger med 200 mm isolasjon på yttersiden. Resterende yttervegger i første etasje er utført som standard bindingsverksvegger med kledning av fasadeplater eller liggende trekledning, det er totalt 250 mm isolasjon i bindingsverksveggene. Dekket mellom første og andre etasje er HD200, hulldekkeelement med tykkelse 200 mm. Over hulldekket ligger det systemgulv fra Granab (tilfarergulv), mellom tilfarerne ut mot ytterveggene i hele første etasje er det lagt 150 mm tykk randsoneisolasjon som strekker seg 2 meter inn i rommene målt fra ytterveggen.

4.1.3 Oppsummering

De tekniske detaljene som har betydning for resultatene på målingene og simuleringene er presentert i tabell 4.2 for å gi en bedre oversikt.

Tabell 4-1. Sammendrag av tekniske spesifikasjoner med betydning for simuleringene

	Garasjeanlegget	Første etasje
Bæresystem og konstruksjon	Bærende yttervegger med tykkelse 250 mm + søylerader og bjelker mellom bæreveggene	Tradisjonelle bindingsverksvegger med gavlvegger og skillevegger mellom leilighetene i betong Dekke: HD 200
Isolasjon	Vegg: Ingen isolasjon Dekke: Steinlagt uten isolasjon med drenerende masser	Vegg: 250mm glassull Dekke: 300mm + 150 mm randsoneisolasjon 2 m inn i leilighetene målt fra randsonen
Dreneringssystem	Tradisjonelt dreneringssystem med drenerende masser og drensledning i randsonen av bygget	
Himling	Systemhimling hvor det er isolert, områder uten isolasjon har malt betong	<i>Ikke relevant</i>
Ventilasjon/oppvarming	Hull m/rist i bakvegg og 4 avtrekksvifter i byggets front sørger for luftskifter. Ingen oppvarming.	Balansert ventilasjon etter krav i TEK 10

4.2 Første befaring og måling av strålingstap (Torsdag 21.02.2019)

Tidsp.	Vær	Temperatur			Nedbør	Vind		Luffuktighet
		Målt	Maks	Min		Middel	Kraftigste vindkast	
torsdag kl 19		-13,8°	-13,8°	-17,1°	0,0 mm	← Svak vind, 1,6 m/s fra øst-nordøst	2,3 m/s	82 %

Figur 4.3. Torsdag 21.02.2019, Bardufoss målestasjon, (Yr, 2019e)

Per i dag foreligger det ingen dokumentasjon på at det finnes kuldebroer mellom garasjeanlegget og første etasje på Øvreveien terrasse. Til kartlegging av mulige svakheter har forfatterne, samt veiledere kommet frem til at det vil være hensiktsmessig å termograferer innsiden av garasjeanlegget. Som nevnt i teoridelen vil det være forventet å se temperaturvariasjoner selv på overflater til en «feilfri» konstruksjon. Temperaturvariasjoner som avviker i forhold erfaringer fra tidligere termograferinger eller lokale avvik på overflatene vil være en indikasjon på en mulig svakhet i materialoppbygningen, prosjektering eller utførelsen. Det er videre planlagt at overflatene i de områdene med avvik skal undersøkes videre ved logging av overflatetemperaturer, i kombinasjon med logging av RF og lufttemperaturer inne og ute.

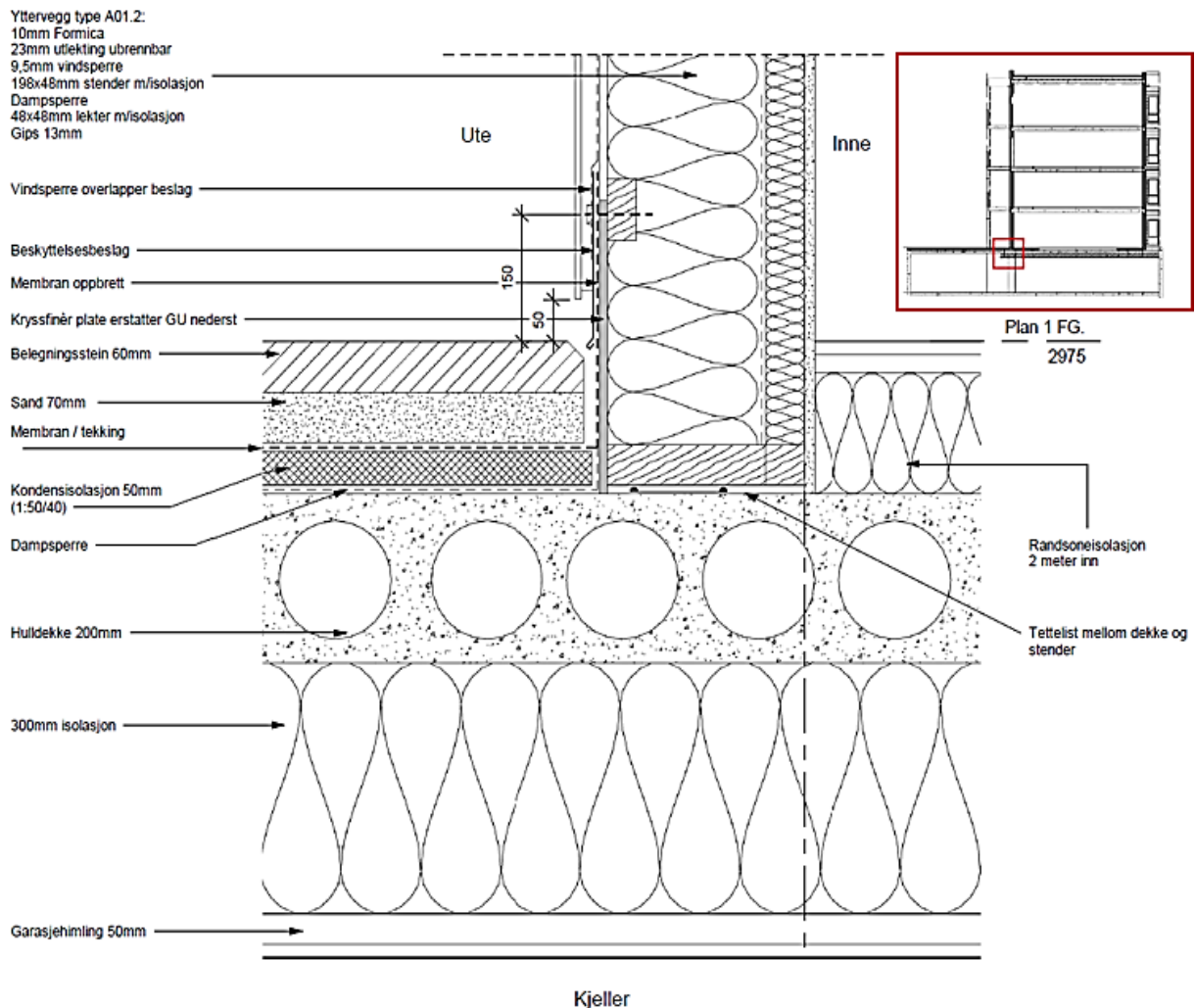
Torsdag 21.02.2019 kl. 19:00 ble første befaring av Øvreveien terrasse gjennomført. Et historisk datosøk for Bardufoss målestasjon, som ligger ca. 1 km sør-øst for måleobjektet og er den nærmeste offisielle målestasjonen, viste at temperaturen var $-17,1$ °C under befaringen (Yr, 2019e). Bardufoss målestasjon ligger noe lavere i terrenget og i nærheten av Barduelven, dette gjør at temperaturen normalt sett er lavere ved Bardufoss målestasjon enn for Øvreveien terrasse. En av beboerne ga opplysning om at når temperaturen vanligvis ligger ca. 2 °C høyere ved Øvreveien terrasse, loggingene viste på et senere tidspunkt at den reelle differansen til tider va betydelig større enn ca. 2 °C.

Hovedfokuset for befaringen var å bli kjent med bygget i tillegg til å få termografert overgangen mellom isolasjonen og hulldekket. Befaringen var også planlagt som grunnlaget for utplassering av måleutstyr for logging av overflatetemperatur på betongen og isolasjonen. Det ble derfor gjort avstandsmålinger som skulle benyttes i planleggingsfasen og klargjøring av måleutstyret.

4.3 Beskrivelse av måleobjekt og måleoppsett

En kombinasjon av samtaler med Consto, analyser av tegninger og termografering gjort under første befaring dannet grunnlaget for hvilke områder det ville være interessante å gjøre målinger på i forhold til kuldebro- og kondensproblematikk. Det ble bestemt at overgangen mellom isolert del til uisolert del i garasjeanleggets tak skulle sees nærmere på.

Huldekket strekker seg kontinuerlig fra leiligheten og ut i friluft uten noen form for kuldebrobrytende isolasjon. For å minske effekten av kuldebroen er isolasjonen i garasjeanleggets tak trukket 760 mm utenfor leiligheten som befinner seg over, i tillegg til den nevnte randsonenisolasjonen som ligger mellom tilfarterne i første etasje. Ute i friluft er betongdekket isolert med 50 mm kondensisolasjon. Se figur 4.4 for detaljer.



Figur 4.4. Detaljtegning av overgangen mellom garasjeanlegget, leilighetene og utearealet i bakkant av bygget. Detaljens plassering i bygget er innfelt opp i høyre hjørne (Tegning: OG arkitekter)

4.3.1 Detaljer for temperatur- og RF logging

Det er gjort logging av temperatur og RF i garasjeanlegget i tidsrommet 07.03.2019 til 27.03.2019. Til loggingen er «Hioki LR 8402-20» benyttet. Loggeren måler temperaturen ved at spenningen måles, ulike temperaturer gir ulik spenning. De ulike spenningene er programmert opp mot sine respektive temperaturer og har en nøyaktighet på 0,01 °C. Det er viktig og stille inn måleinstrumentet riktig etter hvilket materiale termotråden er laget av. I denne oppgaven ble det benyttet termotråder «type T». I

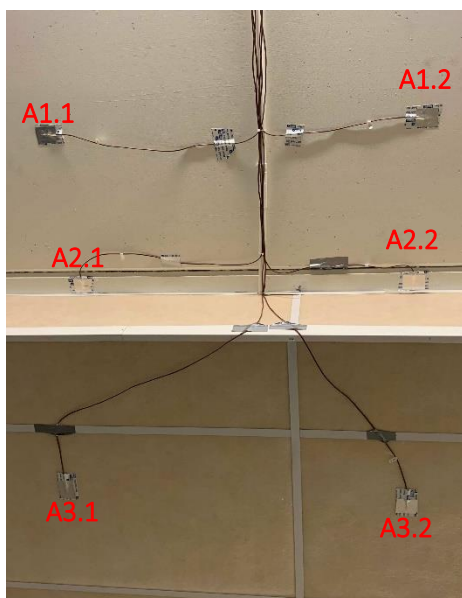
tillegg til å måle temperaturer, er måleinstrumentet i stand til å måle den relative luftfuktigheten fra 5 % til 95 % med en nøyaktighet på 0,1 %.

Det ble valgt to områder, begge i overgangen fra den isolerte delen til den uisolerte delen. Det ene måleområdet er midt mellom to bjelker heretter kaldt «måleområde A», tilsvarende detalj i figur 4.4, og det andre på bjelken heretter kaldt «måleområde B», for plassering av måleområder i garasjeanlegget se figur 4.8.

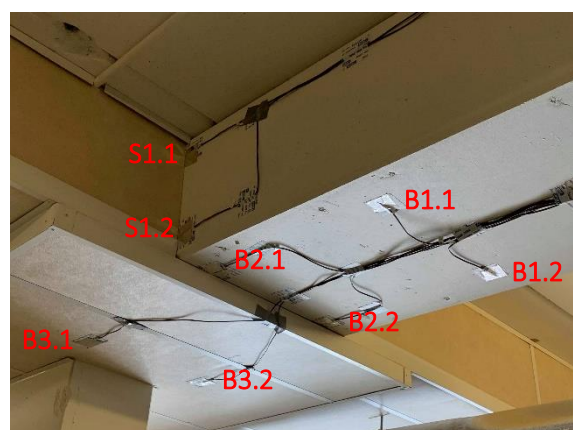
På måleområde A ble det montert 6 temperaturnoder, to og to på samme rad nummeret fra 1-3, A1.1 og A1.2 befinner seg på samme rad. Hver rad danner et sett med noder, nodene på samme sett ble montert med 100 cm avstand. Et sett med noder ble montert 50 cm inn på isolasjonens overflate fra overgangen mellom hulldekket og isolasjon og to sett med noder ble montert på hulldekkets overflate, det ene settet helt inntil isolasjonen, og det andre settet ble montert 50 cm fra overgang mellom isolasjon og hulldekke, se figur 4.5 for navngitte noder.

På måleområde B ble det montert 8 noder, 6 av disse ble plassert på lik måte som på måleområde A, men avstanden mellom nodene på samme sett var 30 cm. Det ble i tillegg montert to noder på siden av bjelken inntil isolasjonen, disse ble montert 10 cm fra topp og bunn av bjelke, henholdsvis node S1.1 og S1.2, se figur 4.6 for navngitte noder.

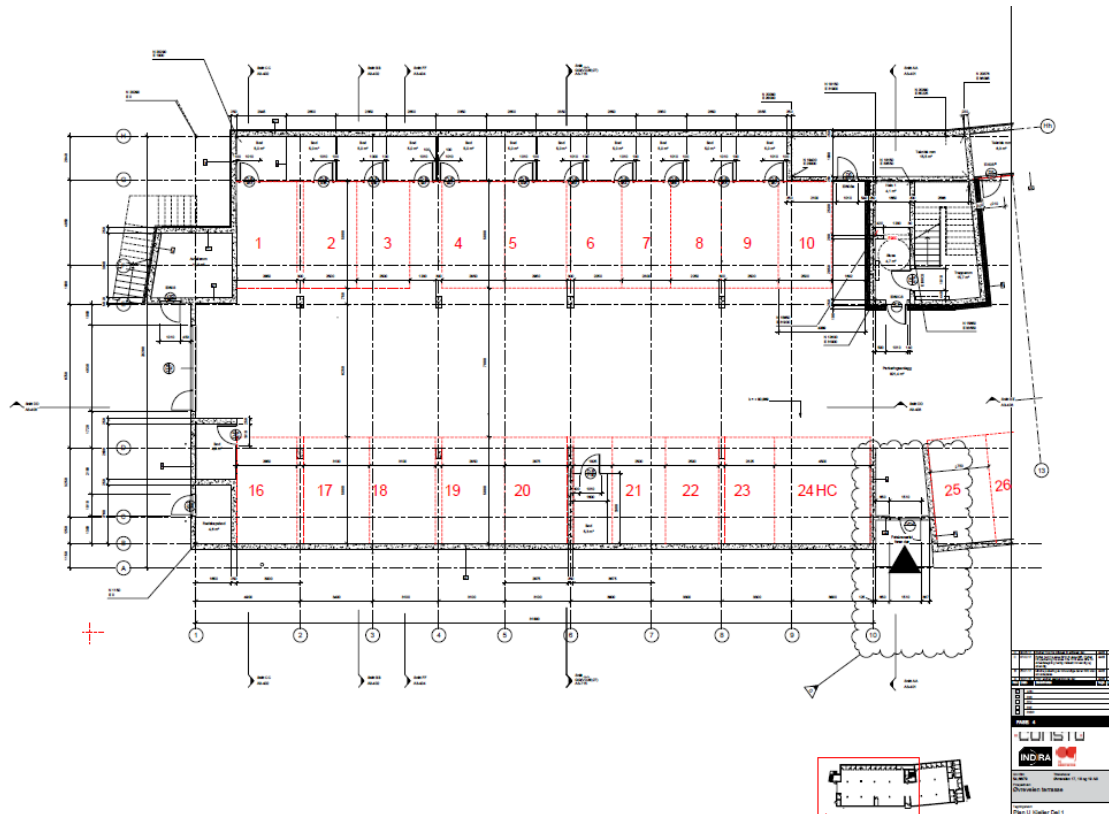
På grunn av måleutstyrets verdi og garasjeanleggets tilgjengelighet fra publikum var det et krav fra UiT om at utstyret skulle låses inn. En avtale med Rolf Engseth om at måleutstyret kunne stå innelåst i boden hans gjorde loggingen mulig. Målingene ble derfor gjort i garasjeanleggets sørlige ende, utenfor bod nr. 3 oppe til venstre på plantegningen i figur 4.7. Resultatene fra temperatur- og RF logging presenteres i kapittel 5.2.



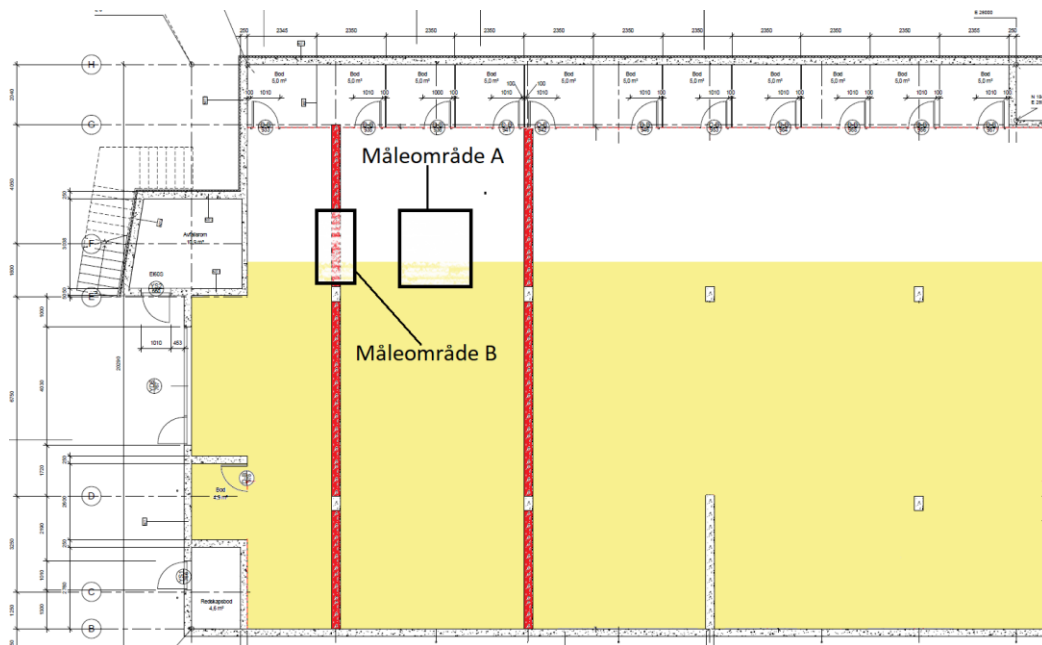
Figur 4.5. Måleområde A med navngitte noder (Foto: Emil Pettersen)



Figur 4.6. Måleområde B med navngitte noder (Foto: Emil Pettersen)



Figur 4.7. Plantegning av garasjeanleggets sørlige del. Målingene er gjort mellom parkeringsplass 1 og 3 oppe i venstre hjørne av garasjeanlegget (Tegning: OG Arkitekter)



Figur 4.8. Utsnitt av plantegning som viser måleområde A og B i garasjeanleggets sørlige ende. Bjelker er markert med rødt, gul farge indikerer isolasjonen. Tegningen er ikke i målestokk. (Tegning: Bjørn Anders Pettersen)











4.3.2 Klargjøring og montering av måleutstyr

Onsdag 06.03.2019 var det avtalt en gjennomgang av utstyr med Nils Andreassen på UiT. Nils har ansvar for det meste av målerelatert utstyr på UiT som benyttes av elever på Integrert bygningsteknologi. I tillegg til dette er han en nøkkelperson for oppdrag der UiT blir leid inn for å bistå med diverse målinger på bygg. Han har derfor veldig god kunnskap om utstyret og hvordan dette skal settes opp mest mulig effektivt. Det ble gitt en grundig gjennomgang av utstyret, hvordan dette skulle settes opp for å gi best mulig resultater, og hva som måtte fokuseres på under planleggingen og oppsettingen av utstyr. Siden oppsettingen av utstyret skulle utføres i et kaldt garasjeanlegg var det viktig at dette ble gjort mest mulig effektivt. Det ble derfor bestemt at alt utstyret måtte klargjøres på forhånd.

På forhånd var det som nevnt avklart med Rolf at måleutstyret kunne plasseres i boden hans. Det ble også registrert at eneste mulighet for å hente strøm til måleutstyret var ved porten til garasjeanlegget. Siden temperaturen inne i garasjeanlegget kunne komme under frysepunktet var det behov for å plassere måleenheten i en isolert kasse med en halogenpære tilkoblet en termostat som varmekilde. Etter monteringsplanen var utarbeidet og ferdig planlagt ble alle måletrådene oppmålt, kappet til sine respektive lengder, merket og avisolert. Måleutstyret ble deretter plassert i kassen og alle ledninger ble tilkoblet til sin respektive kanal etter kanalskjemaet som ble utarbeidet samtidig som monteringsplanen.

God planlegging og gjennomgang fra veilederne Svein Erik Sveen og Nils Andreassen dannet grunnlaget for rask og effektiv montering av måleutstyret. Merkingen og monteringsplanen som var utarbeidet på forhånd ga ingen rom for misforståelse. Det eneste som var uavklart var hvor måletråden til uteluften kunne trekkes uten å være til hinder for beboerne. En kilometer fra bygget ligger Bardufoss målestasjon, som er en offisiell målestasjon. Data fra denne kunne fungert som målinger for utetemperaturen, det optimale ville likevel vært og fått plassert ut en måletråd som målte temperaturen rett utenfor bygget. Problemet ble løst ved å trekke en måletråd gjennom det ene hullet for tilluften til garasjeanlegget. I tillegg til loggingene som ble gjort på måleområde A og B beskrevet i kapittel 4.3.1 ble lufttemperaturen og RF inne i garasjeanlegget logget over samme periode. Lufttemperaturen og RF ble målt 10 cm fra taket i garasjen, midt mellom måleområde A og B. Når utstyret var montert ble temperaturene kontrollert en siste gang for å eventuelt avdekke noen avvik som kunne tyde på feil ved monteringen. Deretter ble kassen plassert i boden og utstyret ble merket slik at det ikke skulle bli fjernet utover måleperioden. Som en ekstra sikkerhet ble vaktmester og styreleder for bygget informert om målingene og lengden på den planlagte måleperioden.

4.4 Andre befaring og måling av strålingstap (Torsdag 07.03.2019)

Tidsp.	Vær	Temperatur			Nedbør	Vind		Luftfuktighet
		Målt	Maks	Min		Middel	Kraftigste vindkast	
torsdag kl 10		-10,2°	-10,2°	-14,1°	0,0 mm	 Svak vind, 1,6 m/s fra vest-nordvest	2,4 m/s	83 %
torsdag kl 11		-8,6°	-7,9°	-10,7°	0,0 mm	Stille, 0,0 m/s	1,5 m/s	80 %
torsdag kl 12		-7,0°	-5,0°	-8,7°	0,0 mm	 Svak vind, 1,9 m/s fra øst-nordøst	2,2 m/s	75 %
torsdag kl 13		-6,3°	-5,5°	-7,1°	0,0 mm	 Flau vind, 1,0 m/s fra øst	2,4 m/s	79 %
torsdag kl 14		-5,8°	-5,6°	-6,5°	0,0 mm	 Svak vind, 1,5 m/s fra øst	2,0 m/s	75 %
torsdag kl 15		-6,3°	-4,2°	-6,3°	0,0 mm	Stille, 0,0 m/s	2,3 m/s	72 %

Figur 4.9. Torsdag 07.03.2019, Bardufoss målestasjon (Yr, 2019h)

Torsdag 07.03.2019 kl. 10:00-15:00 ble befaring gjennomført i kombinasjon med oppkobling og montering av måleutstyr. Objektet ble termografert fra kl. 14:30 – 15:00. I denne perioden viste Bardufoss målestasjon at temperaturen varierte fra –5,8 °C kl. 14:00 til –6,3 °C kl. 15:00 (Yr, 2019a).

Ved monteringen av måleutstyret kom det overaskende på hvordan uteområdet til bygget var utformet. Bygget er utformet på en måte som gjør at man må ha stige for å få tilgang til deler av byggets bakside som vender mot fjellsiden i nord-vest. Derfor var det naturligvis ikke ryddet snø her. Vinteren 2019 har vært en snørik vinter, det var derfor ca. 100 cm med snø mot bakveggen. I tillegg var det lagret store mengder snø oppe på terrassen, dette kan man også se i figur 4.10



Figur 4.10. Viser baksiden av Øvreveien terrasse som vender mot fjellsiden. På bildet kan man se store mengder snø og is på fjellsiden. (Foto: Emil Pettersen)

5 Måleresultater

I dette kapitlet presenteres resultatene fra termograferingen samt temperatur og relativ fuktighets logging gjort på Øvreveien terrasse.

5.1 Innledning

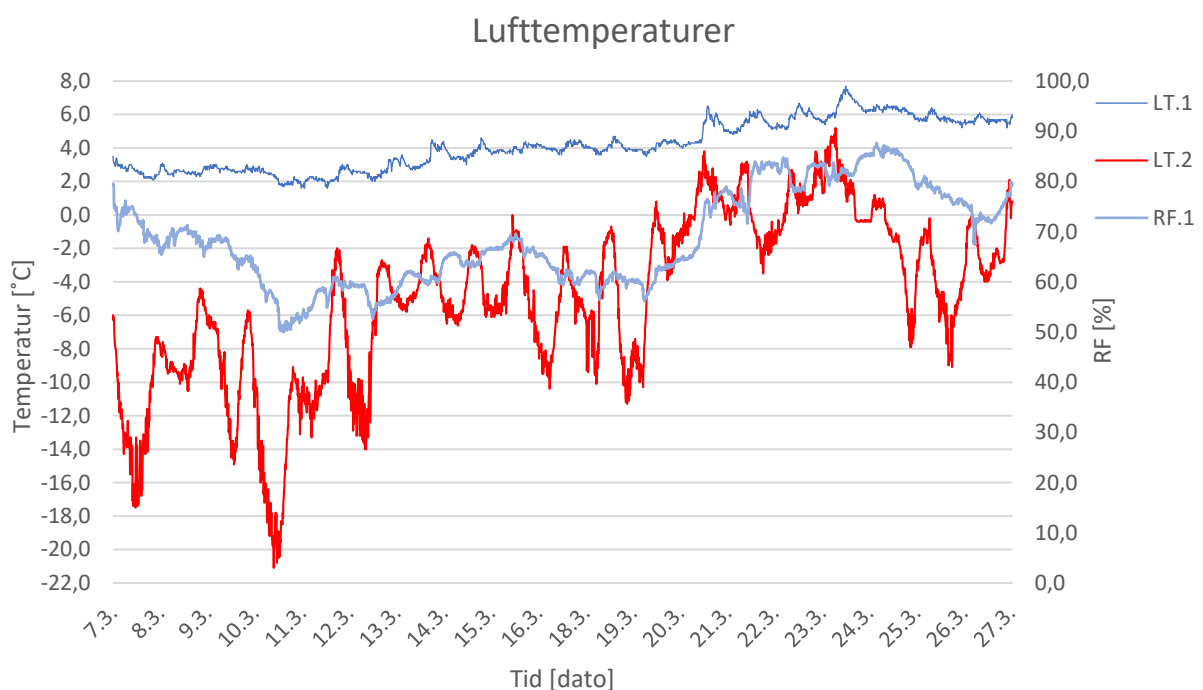
Loggingen av temperaturer og RF på Øvreveien terrasse ble gjort i perioden 07.03.2019 Kl. 14:59 til 27.03.2019 Kl. 10:39. Resultatene fra hele måleperioden til måleområde A og B blir presentert i hver sine figurer. Temperaturene logget på samme rad har to nyanser av samme farge, det er også like farger for henholdsvis rad en, to og tre i begge figurene slik at måleområdene lettere kan sammenlignes. Lufttemperaturen logget utenfor Øvreveien terrasse samt lufttemperaturen logget inne i garasjeanlegget er også presentert i egen figur, se figur 5.1. RF målt inne i garasjeanlegget er plottet med blå kurve i alle tre grafene, og benytter verdiene på sekundæraksen. I vedlegg 10.1 og 10.2 er måleperioden for henholdsvis måleområde A og B delt opp i kortere måleperioder for å lettere kunne lese de forskjellige verdiene fra målingene.

I oppgaven ble et termograferingskamera brukt til å avdekke avvik på konstruksjonen, kameraet gjorde det mulig å undersøke store deler av garasjeanlegget på relativt kort tid. Under termograferingen kan man velge mellom to ulike visninger på termograferingskameraet, vanlig fotografi eller et bilde som viser stråling fra overflater, altså et termogram. Når man velger å fryse bildet lagres begge versjonene. På kameraet som ble benyttet i denne oppgaven zoomer kameraet ut på fotografiet slik at man lettere får oversikt over det man faktisk har termografert. Under termograferingen var kameraet stilt inn slik at skalaen som gjengir temperaturer justerte seg selv etter hvilken temperaturdifferanse kameraet registrerer fra overflatene. Det ble valgt en innstilling som illustrerer farger fra «jernskalaen», svart er kaldt og hvitt er varmt. Denne skalaen er gjengitt på hvert termogram, og må sees i sammenheng med hvert enkelt tilfelle da den som nevnt varierer fra kaldeste til varmeste registrerte temperatur i hvert enkelt tilfelle.

5.2 Resultater fra temperatur og RF logging

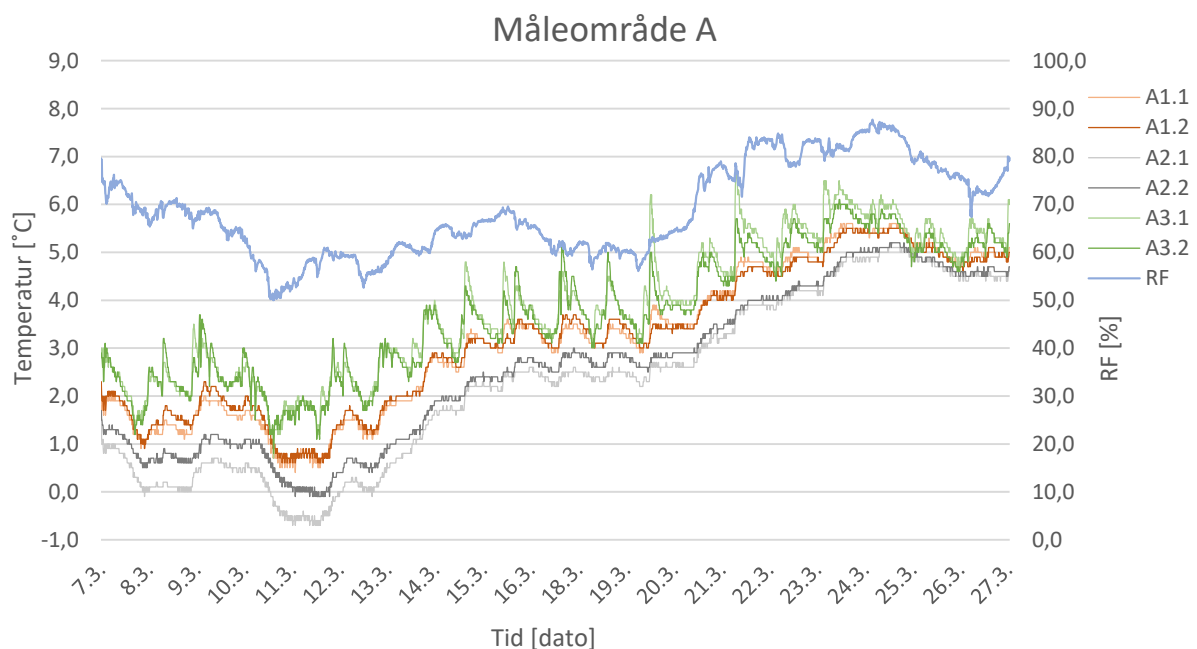
I figur 5.1 er lufttemperaturen og relativ luftfuktighet inne i garasjelegget plottet sammen med utetemperaturen. Som man ser av utetemperaturen (LT.2, rød graf) så er det store variasjoner over relativt korte tidsintervaller. Høyeste utetemperatur målt i perioden var 5,2 °C og laveste var -21,1 °C, som gir en total variasjon på 26,3 °C. I motsetning til utetemperaturen er grafen til den registrerte innetemperaturen mye flatere. Innetemperaturen varierte fra høyeste temperatur på 7,7 °C til laveste på 1,6 °C, som gir en total variasjon på 6,1 °C. Selv om det er registrert minusgrader i måleområde A og B, er det ikke registrert minusgrader for innelufta i måleperioden.

Verdien for RF varierte fra 50 % til 87,7 % i måleperioden. I store deler av måleperioden lå registrert RF mellom 70 % og opp mot registrert maksverdi.



Figur 5.1. Resultater fra logging for lufttemperatur utenfor Øvreveien terrasse (LT.2), samt lufttemperatur inne i garasjelegget (LT.1). RF målt inne i garasjelegget er presentert med blå graf.

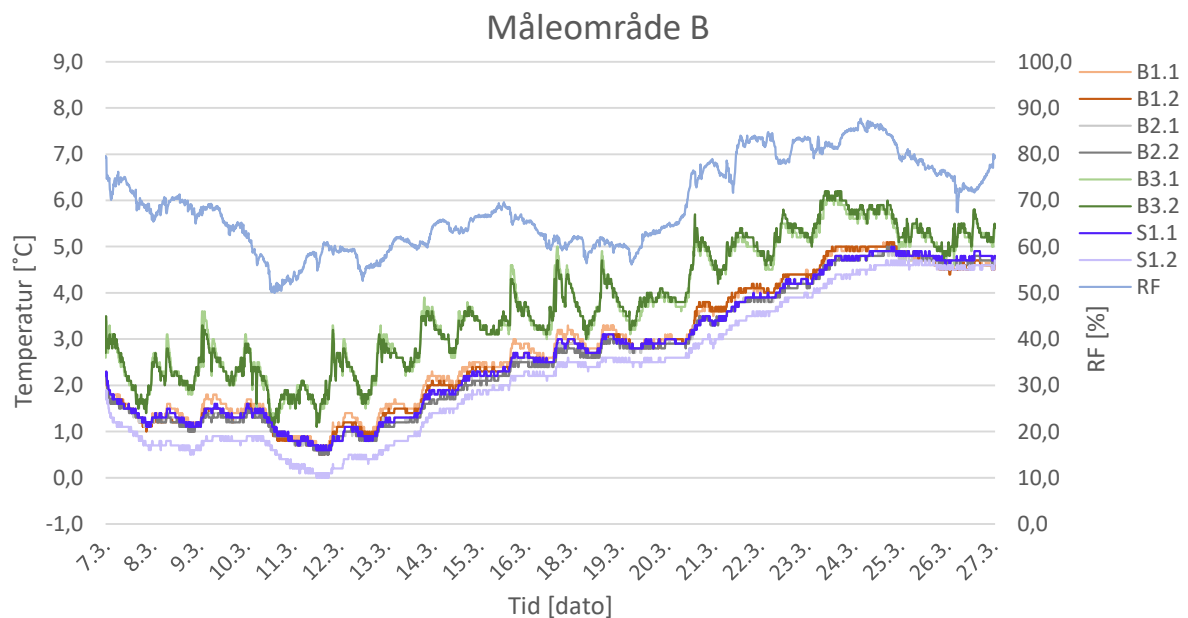
Målingene gjort på måleområde A er vist i figur 5.2. Man kan se en tydelig sammenheng på temperaturforløpet mellom nodene på samme rad. De to nodene som logger temperaturen i overgangen mellom hulldekket og isolasjonen (A2.1 og A2.2, lyse- og mørkegrå kurve) viser de lavest registrerte temperatur sammenlignet med resterende punkter i hele måleperioden. Laveste registrerte temperatur for A2.1 var $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, mens for A2.2 var laveste registrerte temperatur $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Loggingen utført på isolasjonens overflate (A3.1 og A3.2, lyse- og mørkegrønn kurve) viser at temperaturen er høyest i disse punktene. For A3.1 var høyeste registrerte temperatur $6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, og for A3.2 var høyest registrerte temperatur $6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. I tillegg varierer temperaturen mest i disse punktene. Om man sammenligner nodene som er plassert på isolasjonens overflate, følger disse lufttemperaturen i garasjelegget i større grad enn de øvrige nodene. Det er i snitt ca. $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperaturdifferanse mellom de kaldeste punktene i overgangen mellom hulldekket og isolasjonen, til de varmeste punktene på isolasjonens overflate. Målingene som er gjort i punkt A1.1 og A1.2, 50 cm inn på hulldekket målt fra isolasjonens ende, ligger stort sett midt mellom de to varmeste og de to kaldeste punktene gjennom hele perioden.



Figur 5.2. Resultater for måleområde A i perioden 07.03.2019 til 27.03.2019

Målingene gjort for måleområde B er presentert i figur 5.3. Målingene for alle punktene med unntak av målingene gjort på isolasjonens overflate (B3.1 og B3.2, lyse- og mørkegrønn kurve) og målingene gjort på siden av bjelken øverst mot taket (S1.2, lilla kurve) ligger stort sett innenfor 1 °C i differanse fra kaldest til varmest i hele perioden. I likhet med resultatene fra måleområde A varierer temperaturene på kurvene til B3.1 og B3.2 som registrerer temperaturene på isolasjonens overflate relativt mye i forhold til resterende temperaturlogginger, i tillegg er de høyeste overflatetemperaturene registrert her. For B3.1 og B3.2 er høyest registrerte temperatur 6,2 °C. Det er verdt å merke seg at selv om det er likheter mellom måleområde A og B når det gjelder variasjonene på temperaturene på rad tre så er ikke utslagene like store i måleområde B.

De laveste temperaturene registrert i måleområde B er på nodene plassert på siden av bjelken, S1.1 og S1.2 (lyselilla og mørkelilla kurver). Laveste temperatur registrert for S1.2 som ligger nærmest taket er 0,0 °C, mens det for S.1.1 er 0,6 °C.



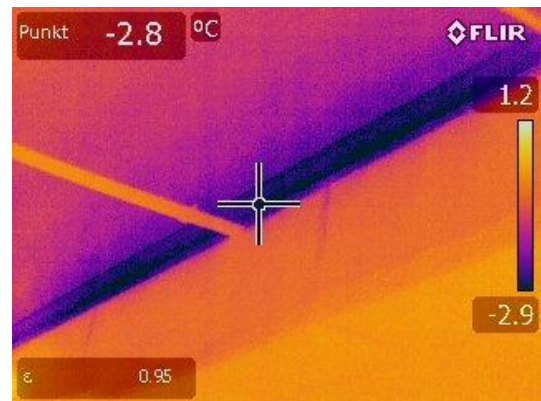
Figur 5.3. Resultater for måleområde B i perioden 07.03.2019 til 27.03.2019

5.3 Termograferingsresultater

I måleområde A viser termograferingen temperaturdifferanse i overgangen mellom hulldekke og isolasjonen. Differansen mellom varmeste og kaldeste punkt på måleområde A ble målt til 4,1 °C jf. figur 5.5. Man ser av fargeskalaen som er gjengitt på bildet, og av temperaturen registret i kryssets plassering at det kaldeste området er i sjiktovergangen mellom materialene, det blir gradvis varmere jo lenger ut på hulldekket man beveger deg. Isolasjonen viser jevnt over liten temperaturvariasjon.



Figur 5.4. Fotografi av måleområde A, plastrøret i termogrammet er det nærmeste plastrøret i fotografiet (Foto: Emil Pettersen)

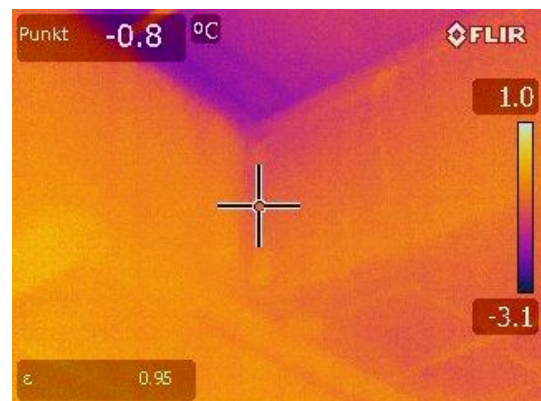


Figur 5.5. Termogram av måleområde A med 4,1 °C temperaturdifferanse (Foto: Emil Pettersen)

I måleområde B viser termograferingen like stort differanse mellom varmest og kaldeste punkt som for måleområde A på 4,1 °C. Studerer man bildet ser man at de kaldeste områdene også her er i sjiktovergangen mellom hulldekket og isolasjonen. Foruten øverste del av bjelkens side er det liten temperaturvariasjon på bjelken og isolasjonen. Temperaturen i termogrammets kryss som er plassert midt mellom målenodene viser -0,8 °C.



Figur 5.6. Fotografi av måleområde B (Foto: Emil Pettersen)

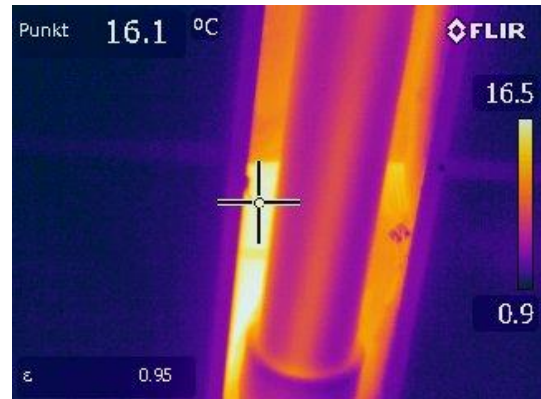


Figur 5.7. Termogram av måleområde B med 4,1 °C temperaturdifferanse (Foto: Emil Pettersen)

Under termograferingen ble det oppdaget et avvik med tanke på varmetap og de følgende det medfører. Avviket ble funnet i garasjeleggets tak utenfor fokusområdet for oppgaven, det ble likevel valgt å inkludere dette i oppgaven. Jf. figur 5.8 og 5.9 kan man se at det mangler isolasjon på den ene siden av overvannsrøret i tillegg til dårlig utførelse på resterende isolering. Som termogrammet viser mangler det Isolasjon langs røret, og hulldekket er blottlagt. Høyeste temperaturen på skalaen viser 16,5 °C og laveste temperatur er 0,9 °C, som resulterer i en temperaturdifferanse på 15,6 °C.



Figur 5.8. Fotografi av overvannsrør uten med manglende isolasjon (Foto: Emil Pettersen)



Figur 5.9. Termogram av overvannsrør med manglende isolasjon, registrert temperaturdifferanse er 15,6 °C (Foto: Emil Pettersen)

6 Simulering av varmetransport

I dette kapittelet presenteres de to verktøyene som er benyttet for simulering av varmetransport. Kapittelet inkluderer også svakheter og begrensninger ved modellene.

6.1 Innledning

Det er benyttet simuleringprogrammer til beregning av varmetransport i konstruksjonen. På bygningsfysikk.no finnes det en oversikt over ulike programvarer, deres egenskaper og vanligste bruksområder (Bygningsfysikk, 2018b). Denne oppgaven hadde behov for et program som kunne simulere med tre ulike temperaturer til samme tid, programmet måtte også være gratis siden oppgaven ikke har noe budsjett. Valget falt til slutt på programmet THERM som er utviklet ved «Lawrence Berkeley National Laboratory» (LBNL).

Til transiente simuleringer ble WUFI 2D valgt, programmet er utviklet i Tyskland med blant annet Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Sintef som samarbeidspartnere. Programmet er blant annet koblet opp mot «EN 15026: Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation». I tillegg har programmet en rik produktdatabase fra flere ulike produsenter, hvor NTNU har bidratt med egen materialdatabase for produkter som er vanlige å bruke i Norge. WUFI 2D krever normalt lisens, men det er mulig å få tilgang til programmet om man har skoleoppgaver som krever simuleringer i to dimensjoner. For at resultatene skal kunne sammenlignes er det benyttet like verdier for varmemotstand til materialer og overgangsmotstand for begge simuleringprogrammene. Det ble i tillegg kjørt en lengre simulering på 600 timer med stasjonære temperaturer. Hensikten med denne simuleringen var og få resultater som kunne sammenlignes opp mot resultatet fra THERM.

6.1.1 THERM

THERM ble i utgangspunktet utviklet for å beregne temperaturforløpet og avdekke svakheter i vinduer. Programmet har vist seg å fungere vel så godt til andre bygningskomponenter som vegger, tak, fundamenter og dører. Siden programmet i utgangspunktet var ment for å analysere vinduer er programmet svært nøyaktig, i tillegg er det også enkelt å tegne inn tynne sjikt som dampspærre og membran. THERM er svært brukervennlig når man får satt seg inn i programmet, det er enkelt å gjøre endringer slik at man kan analysere ulike løsninger og effekten av endringene. Dette er også den opprinnelige bruken programmet var utviklet til, å vurdere energieffekten til ulike løsninger og temperaturmønsteret i konstruksjonen. Programmet har ikke mulighet til å utføre transiente simuleringer, kun stasjonære simuleringer. Rutesystemet THERM benytter til generering av måleresultater kalles for MESH (Therm, 2019).

6.1.2 WUFI 2D

WUFI 2D er i all hovedsak utviklet av «Fraunhofer Institute for building physics» og har i tillegg flere samarbeidspartnere. Programmet er laget for å gjøre to dimensjonale analyser av fukt- og varmetransport for komplekse konstruksjoner over tid. Programmet bærer preg av kvalitet og det er gode instruksjonsfilmer tilgjengelig på internett. I programmet har man også mulighet til å hente inn ferdige klimadata for enkelte områder i Norge som er lagt inn av Sintef Byggforsk og NTNU. Det er også mulig å legge inn klimadata manuelt ved hjelp av programvare som er inkludert i nedlastingsfilen. WUFI 2D er et komplisert program med flere valgalternativer, det er blant annet mulig å velge orientering av bygg slik at man kan beregne tilskudd av solenergi. For at beregningene skal kunne sammenlignes med resultatene fra THERM er ikke denne funksjonen benyttet. Det er benyttet funksjoner og input i simuleringen til et minimum. Dette gjør for det første at resultatene kan sammenlignes, i tillegg vil det også være mindre sjans for at man setter inn verdier som er med på å forstyrre resultatet. Rutesystemet WUFI 2D benytter til generering av måleresultater kalles for GRID (Wufi, 2019b).

6.2 THERM, stasjonære forhold

6.2.1 Varmeovergangsmotstand, materialparametere og grensebetingelser

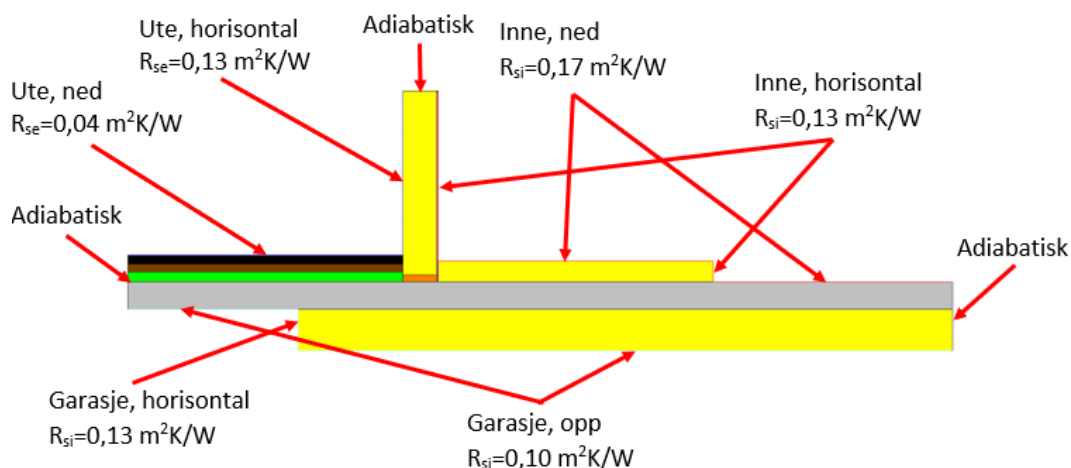
I modellen er det gjort enkelte forenklinger. Siden det skal simuleres varmetransport er materialer som vil ha tilnærmet null påvirkning neglisjert. Dette gjelder membran, dampsperre og vindsperre. Etter NS-EN ISO 6946 gjelder følgende for beregning av U-verdi for vegger, «Ved beregning av U-verdi for vegger og tak med utvendig luftet kledning/tekning skal man se bort fra varmemotstanden i luftspalten og kledningen/tekningen. I stedet kan man benytte samme motstand som innvendig varmeovergangsmotstand, $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ for vegger og $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ for tak» (Sintef, 2018d). Luftspalten og kledningene er derfor ikke inkludert i simuleringsmodellen. For de øvrige varmeovergangsmotstandene er disse hentet fra NS-EN ISO 6946:2017 (Standard, 2017).

Varmekonduktivitet til de ulike materialene er hentet fra Sintef (Sintef, 2003b) og emissiviteten er hentet fra læreboken «Heat and Mass Transfer» (Çengel & Ghajar, 2014).

Tabell 6-1. Oversikt over materialparameterne og de ulike materiale som er benyttet i simuleringmodellen

	Materiale	Varmekonduktivitet [W/mK]	Emissivitet
1	Gips	0,200	0,93
2	Glassull	0,035	0,94
3	XPS	0,036	0,90
4	Sand	1,700	0,90
5	Stein	3,000	0,90
6	Trevirke	0,130	0,90
7	Hulldekke	2,250	0,90

Figur 6.1 viser grenseverdiene til simuleringen, adiabatisk er satt for endepunktene av konstruksjonen som fortsetter. For samtlige av de andre grenseverdiene er det fulgt anbefalinger etter brukermanualen til programmet. Anbefalt modell er «comprehensive», fra undermenyen til «comprehensive» er det ulike valg. I slike tilfeller skal man velge «convection», det vil si omkringliggende luft overfører energi ved hjelp av konveksjon. I tillegg tar programmet høyde for at de ulike overflater stråler mot hverandre, derfor er også emissivitet inkludert i modellen.



Figur 6.1. Grensebetingelser og overgangsmotstander til simuleringmodellen

6.2.2 Rutesystem (Mesh)

Siden THERM er konstruert for å simulere tverrsnitt av vinduer har programmet en tett mesh. Inne i THERM kan man justere mesh, funksjonen for dette heter «Quad Tree Mesh». Man kan justere mesh fra 3 til 12. Høyere tall gir finere mesh, altså høyere nøyaktighet. Det som bestemmer hvor høyt man kan justere er geometrien til modellen. For denne simuleringen var det mulig å justere mesh til 9 før program ga feilmelding. Oversiktsbilde over mesh kan ses i vedlegg 10.3.

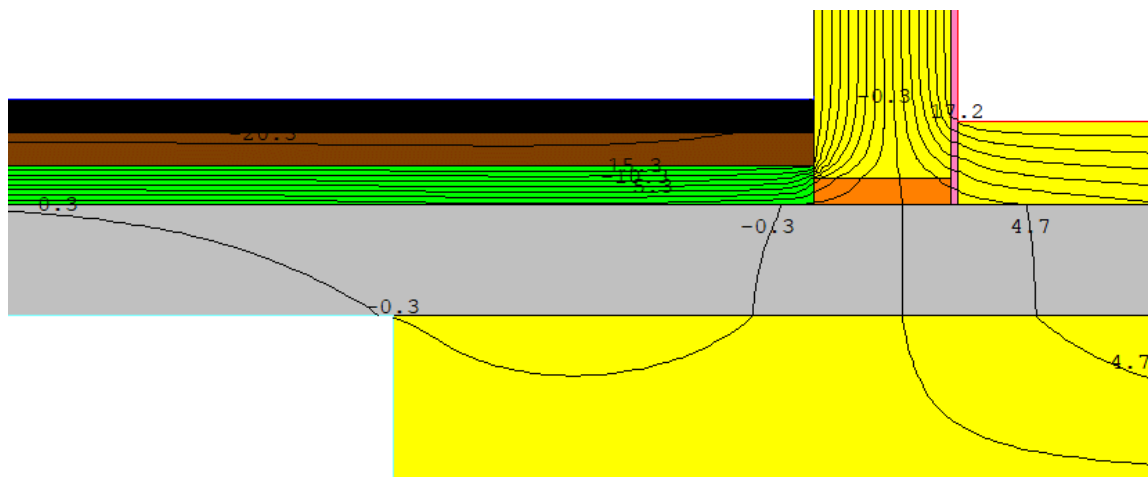
6.2.3 Temperaturer og RF benyttet i simuleringmodellen

De laveste temperaturene registrert for uteluften og luften inne i garasjelegget er bruk som input i THERM under simuleringene. Disse temperaturene ble ikke målt samtidig, det er likevel sannsynlig at temperaturene kan bli målt til samme tid under gitte værtilstander og temperaturforløp. Eventuelle kuldebroer er lettere å oppdage ved å sette betingelsene nær grensene.

- Temperatur ute: $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, målt 11.03.2019 kl. 03:59.
- Temperatur inne i garasjelegget: $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, målt 11.03.2019 kl. 18:39.
- Temperatur i leiligheten over: $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ og RF: 45%

Det er ikke nødvendig å sette starttemperaturer for de ulike materialsjiktene i THERM.

6.2.4 Resultater



Figur 6.2. Nåværende løsning simulert med THERM

Simuleringen viser den nåværende løsningen for Øvreveien terrasse, beregnet U-verdi for tverrsnittet av ytterveggen vist i figur 6.2 er $0,1362\text{ W/m}^2\text{K}$ med en feilmargin på 3,87 %. Denne U-verdien har også blitt kontrollregnet manuelt med beregningsmetoden for homogene sjikt beskrevet NS-EN ISO 6946:2017, resultat kan ses på vedlegg 10.4. Ut ifra simuleringene kan man se at isotermer på $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ faller for området hvor randisolasjonen overlapper hulldekket. (Standard, 2017)

6.3 WUFI 2D, stasjonære forhold

6.3.1 Varmeovergangsmotstand, materialparametere og grensebetingelser

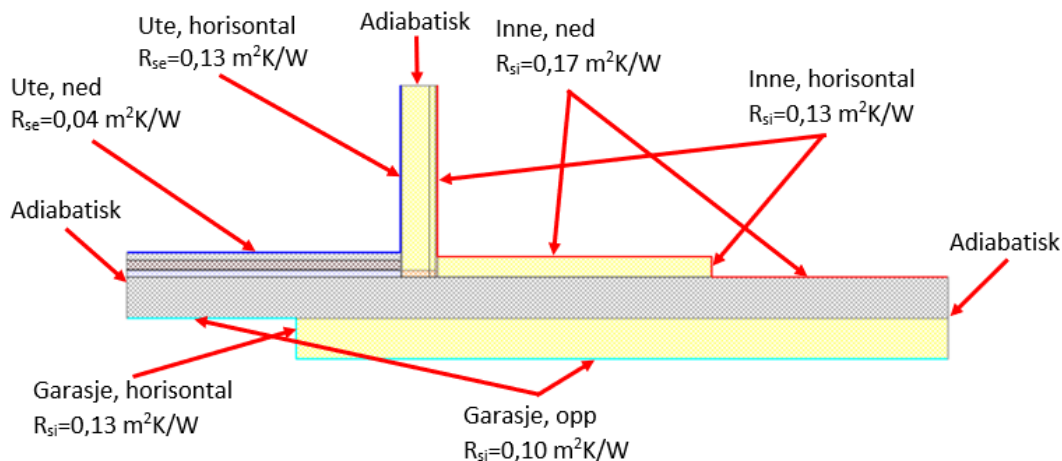
I modellen er det gjort enkelte forenklinger. Siden det skal simuleres varmetransport er enkelte materialer som vil ha tilnærmet null påvirkning neglisjert. Dette gjelder membran, dampsperre og vindsperre. Etter NS-EN ISO 6946 gjelder følgende for beregning av U-verdi for vegger, «Ved beregning av U-verdi for vegger og tak med utvendig luftet kledning/tekning skal man se bort fra varmemotstanden i luftespalten og kledningen/tekningen. I stedet kan man benytte samme motstand som innvendig varmeovergangsmotstand, $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ for vegger og $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ for tak» (Sintef, 2018d). Luftspalten og kledningene er derfor ikke inkludert i simuleringmodellen. For de øvrige varmeovergangsmotstandene er disse hentet fra NS-EN ISO 6946:2017 (Standard, 2017).

For WUFI 2D er varmemotstanden til de ulike materialene hentet fra materialdatabasen til WUFI 2D, siden resultatet skulle sammenlignes med resultatet for THERM er det benyttet tilsvarende materialer med like verdier for varmemotstand. Parameterne til de ulike materialene er dog mer detaljerte siden programmet også har funksjoner som beregning av fukttransport, kondensrisiko m.m.

Tabell 6-2. Oversikt over materialparameterne og de ulike materiale som er benyttet i simuleringmodellen

	Materiale	Densitet [kg/m ³]	Porøsitet [m ³ /m ³]	Spesifikk varmekapasitet [j/kgK]	Termisk konduktivitet [W/mK]	Vanndampmotstand [-]
1	Gips	850,0	0,650	850	0,200	8,30
2	Glassull	40,0	0,986	850	0,035	1,30
3	XPS	14,8	0,990	1470	0,036	73,01
4	Sand	1950,0	0,240	850	1,700	17,00
5	Stein	2650,0	0,035	2600	3,000	35,70
6	Trevirke	510,0	0,730	1600	0,130	50,00
7	Hulldække	2400,0	0,180	880	2,250	180,00

Figur 6.3 viser grenseverdiene til simuleringen, adiabatisk er satt for endepunktene av konstruksjonen som fortsetter. For samtlige av de andre grenseverdiene er det benyttet standardiserte modeller for inne- og utetemperatur. Eneste endringene som er gjort i de ulike modellene er for overgangsmotstandene.



Figur 6.3. Grensebetingelser og overgangsmotstander til simuleringsmodellen

6.3.2 Rutesystem (Grid)

WUFI 2D genererer automatisk grid etter størrelse og geometri på det man tegner. Programmet minker avstanden mellom grid i områder som ligger rundt ytter- og innerhjørner, det blir også kortere avstand mellom grid om materialsjikt er tynne. Til denne simuleringen foreslo WUFI 2D 150 i X-retning og 150 i Y-retning. Siden konstruksjonene er noe lengere langs X-aksen ble dette justert opp til 300 i X-retning og 150 i Y-retning. Oversiktsbilde over grid kan ses i vedlegg 10.5.

6.3.3 Temperaturer og RF benyttet i simuleringsmodellen

De laveste temperaturene registrert for utelufta og lufta inne i garasjeanlegget er bruk som input i WUFI 2D under simuleringen. Disse temperaturene ble ikke målt samtidig, det er likevel sannsynlig at temperaturene kan bli målt til samme tid under gitte værbetingelser og temperaturforløp. Eventuelle kuldebroer er lettere å oppdage ved å sette betingelsene nær grensene.

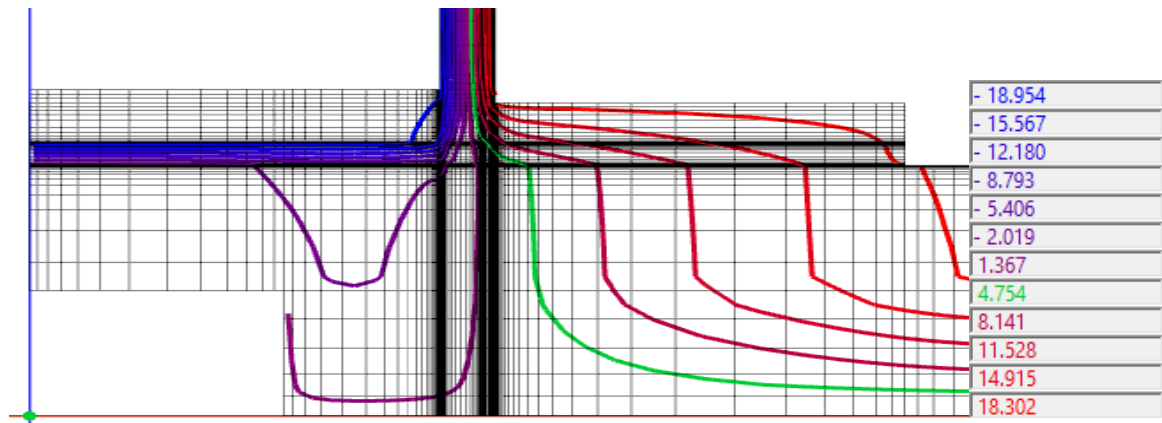
- Temperatur ute: $-21,1^{\circ}\text{C}$, målt 11.03.2019 kl. 03:59.
- Temperatur inne i garasjeanlegg: $1,6^{\circ}\text{C}$, målt 11.03.2019 kl. 18:39.
- Temperatur innvendig: 20°C og RF: 45%

Programmet har ikke mulighet til å gjøre øyeblikks simuleringer. For at man skal kunne sammenligne resultatet fra WUFI 2D med resultatet fra THERM har det vært behov for å kjøre en lengere simulering. Starttemperaturene til alle materialsjikt er satt til 20°C . For at resultatene skal kunne sammenlignes er simuleringen kjørt over 600 «tids punkt», hvert punkt telles som en time. Det vil si at simuleringen er kjørt over 600 timer, som tilsvarer 25 dager. Grunnen til at simuleringen er kjørt så lenge er for og være sikker på at temperaturene har stabilisert seg for hvert materialsjikt før avlesning ble gjort. Det ble i tillegg kjørt en lengere simulering på 700 timer for å forsikre seg om at temperaturene hadde

stabilisert seg. Rent teoretisk er denne simuleringen også transient, men resultatene er ikke hentet ut før temperaturene har stabilisert seg i materialsjiktene.

For WUFI 2D er det i tillegg nødvendig å sette startbetingelser for RF fra 0 til 1 for materialsjiktene. Standardverdien for dette er 0,8, i brukermanualen er det beskrevet at man ikke har behov for å justere denne for lengere simuleringer siden denne vil stabilisere seg over tid. I tillegg var det ingen intensjon om å simulere fukt for denne simuleringen, standardverdien på 0,8 ble derfor ikke endret.

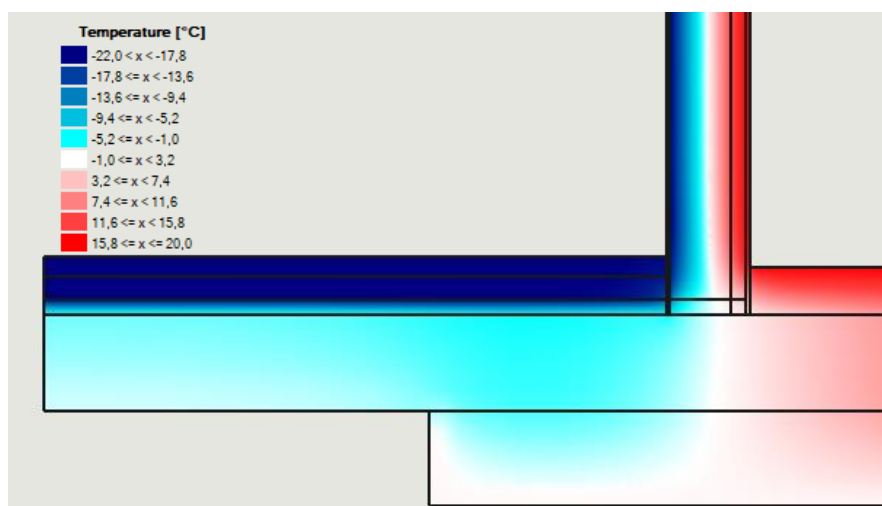
6.3.4 Resultater



Figur 6.4. Nåværende løsning simulert med WUFI 2D

Om man sammenligner figur 6.4 med figur 6.2 kan man se at resultatet er tilnærmet likt. Ved å sammenligne isothermene på 4,7 °C til de ulike figurene får man en indikasjon på hvor like resultatene er fra de to simuleringprogrammene.

I figur 6.5 kan man også se at temperaturen faller for området under overlappende isolasjon.



Figur 6.5. Nåværende løsning for Øvreveien terrasse. Illustreringen viser temperfordelingen i konstruksjonen, -1 °C til 3,2 °C er endret til hvit farge for å tydeliggjøre temperaturforløpet i området under isolasjonen.

6.4 WUFI 2D, transient

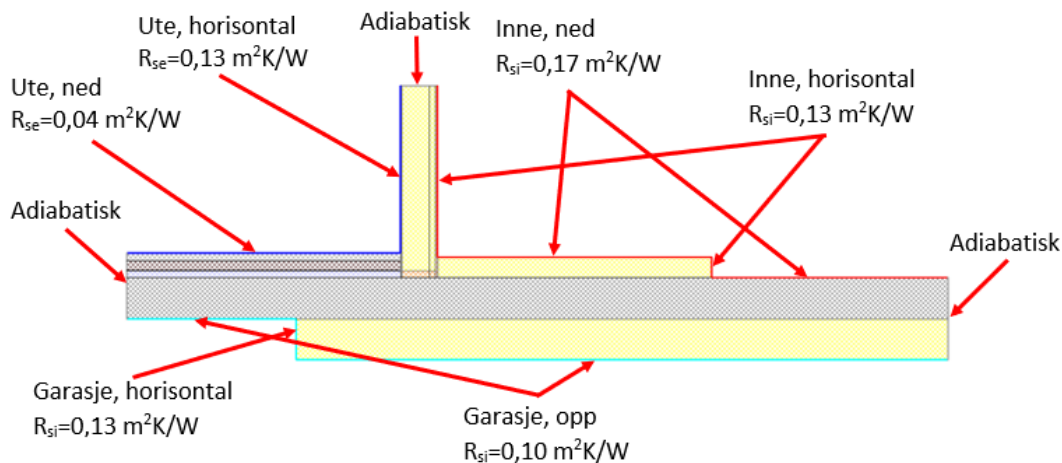
6.4.1 Varmerovergangsmotstand, materialparametere og grensebetingelser

For simuleringsmodellen for transiente beregninger er vindsperre og dampspærre inkludert. Etter NS-EN ISO 6946 gjelder følgende for beregning av U-verdi for vegger: «Ved beregning av U-verdi for vegger og tak med utvendig luftet kledning/tekning skal man se bort fra varmemotstanden i luftspalten og kledningen/tekningen. I stedet kan man benytte samme motstand som innvendig varmeovergangsmotstand, $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ for vegger og $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ for tak» (Sintef, 2018e). Luftspalten og kledningene er derfor ikke inkludert i simuleringen, anbefalingene til Sintef for varmeovergangsmotstand er fulgt. For de øvrige varmeovergangsmotstandene er disse hentet fra NS-EN ISO 6946:2017 (Standard, 2017). Varmemotstanden til de ulike materialene er hentet fra materialdatabasen til WUFI 2D.

Tabell 6-3. Oversikt over materialparametere og de ulike materiale som er benyttet i simuleringsmodellen

	Materiale	Densitet [kg/m ³]	Porøsitet [m ³ /m ³]	Spesifikk varmekapasitet [j/kgK]	Termisk konduktivitet [W/mK]	Vanndampmotstand [-]
1	Gips	850,0	0,650	850	0,200	8,30
2	Glassull	40,0	0,986	850	0,035	1,30
3	XPS	14,8	0,990	1470	0,036	73,01
4	Sand	1950,0	0,240	850	1,700	17,00
5	Stein	2650,0	0,035	2600	3,000	35,70
6	Trevirke	510,0	0,730	1600	0,130	50,00
7	Hulldekke	2400,0	0,180	880	2,250	180,00
8	Dampspærre	130,0	0,001	2300	2,30	297,00
9	Membran	1890,0	0,001	2300	2,300	33000,00
10	Vindsperre	130,0	0,001	2300	2,300	297,00

Figur 6.6 viser grenseverdiene til simuleringen, adiabatisk er satt for endepunktene av konstruksjonen som fortsetter. For samtlige av de andre grenseverdiene er det benyttet standardiserte modeller for inne- og utetemperatur. Den eneste endringene som er gjort i de ulike modellene er for overgangsmotstandene.



Figur 6.6. Grensebetingelser og overgangsmotstander til simuleringsmodellen

6.4.2 Rutesystem (Grid)

Til transient simulering er det benyttet ett grid på 300 i X-retning og 150 i Y-retning.

6.4.3 Temperaturer og RF benyttet i simuleringsmodellen

For å gjøre en full analyse vil det være behov for en RF som er beregnet opp mot sin respektive utetemperatur. Under loggingen på Øvreveien terrasse ble det kun målt RF inne i garasjeanlegget. Det ble derfor hentet RF og utetemperaturer fra Bardufoss målestasjon fra perioden 07.03.2019 Kl. 15:00 til 27.03.2019 Kl. 11:00 (Yr, 2019f). Temperaturen og RF inne i garasjeanlegget er fra loggingen som ble utført på Øvreveien terrasse, for temperaturen inne i leiligheten er det benyttet stasjonær temperatur og RF.

- Temperatur og RF: Verdier hentet fra Yr.no (Yr, 2019f)
- Temperatur og RF inne i garasjeanlegg: Verdier fra temperatur- og RF logging
- Temperatur og RF innvendig: 20 °C og RF: 45%

Siden simuleringsperioden varer i 20 dager, er det viktig å sette starttemperaturer på de ulike materialsjiktene slik at man får mest mulig ut av simuleringen. Det ble derfor kjørt en simulering for å undersøke hvilke temperaturer det ville være fornuftig og velge.

Tabell 6-4. Oversikt over de ulike starttemperaturene til materialsjiktene

	Materiale	Starttemperatur [°C]
1	Gips	19,0
2	Glassull	12,5
3	XPS	-7
4	Sand	-7
5	Stein	-10
6	Trevirke	*15
7	Huldekke	*12,5
8	Dampsperre	*15
9	Membran	*-7
10	Vindsperre	-10

*For materialsjikt der det er fare for kondens er disse temperaturene justert opp. Dette for å unngå at det felles ut kondens på disse flatene før temperaturene har fått mulighet til å stabilisere seg.

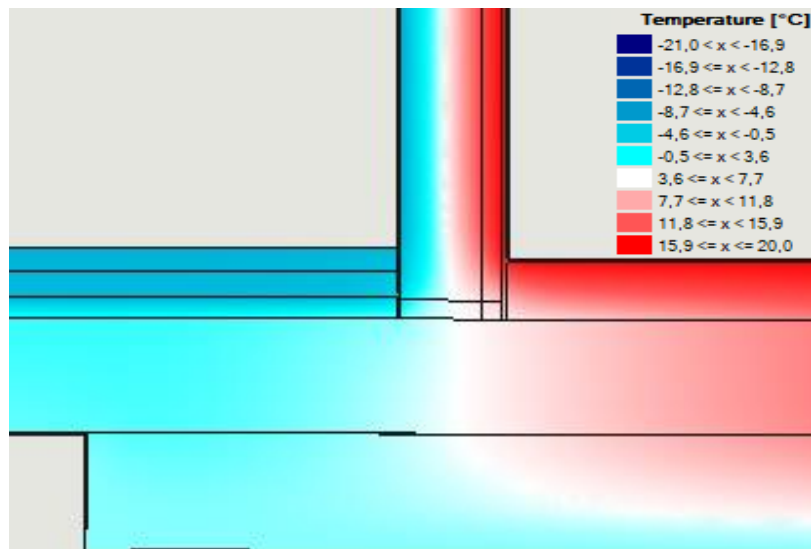
Som nevnt i kap. 6.3.3 er standardverdien for RF på 0,8. Med bakgrunn fra flere Sintef rapporter hvor det simuleres for byggfukt blir det benyttet 0,8 for materialsjikt. Det er derfor benyttet 0,8 for materialsjiktene i de transiente simuleringene (Sintef, 2010).

6.4.4 Resultater

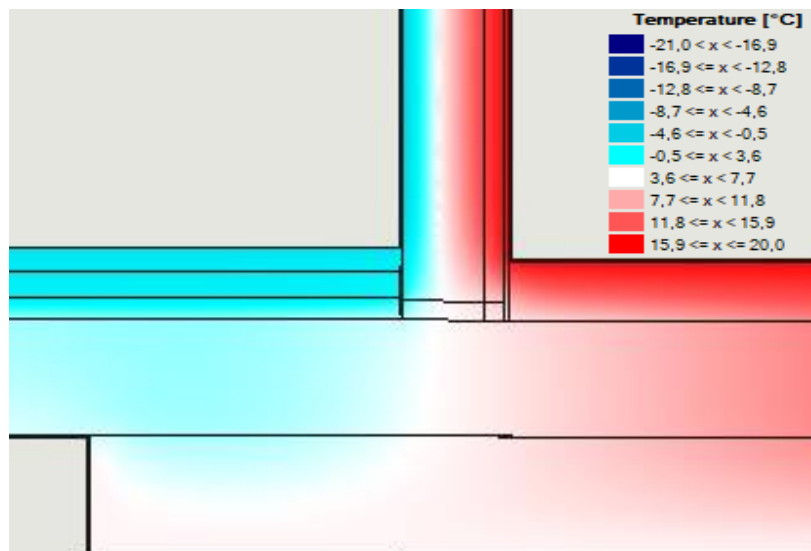
Figur 6.7 viser resultatet for simulering etter 200 timer. Dette tilsvarer 15.03.2019 kl. 23:00 fra temperatur- og RF loggingen.

Figur 6.8 viser resultatet for simulering etter 342 timer. Dette tilsvarer 21.03.2019 kl. 22:00 fra temperatur- og RF loggingen. Ved og sammenligne de to figurene kan man se at temperaturbildet varierer mye over tid.

Om man sammenligner figur 6.8 (transient) med figur 6.5 fra stasjonær simulering kan man se likhetstrekk med simuleringene.

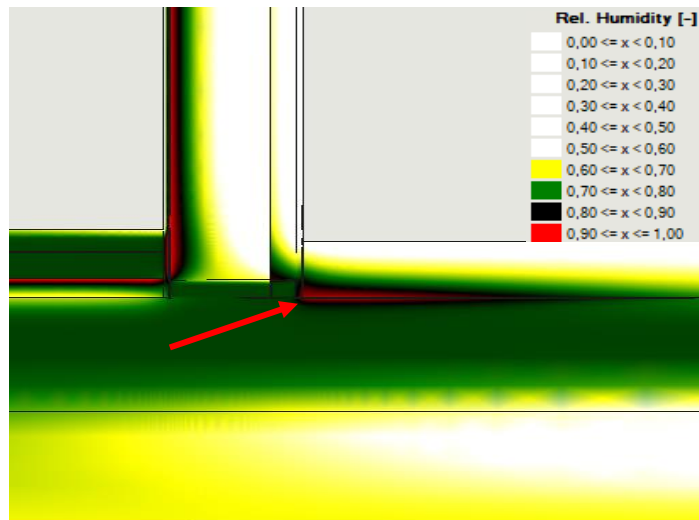


Figur 6.7. Viser resultat fra nåværende løsning for Øvreveien terrasse etter 200 timer. Dette tilsvarer: 15.03.2019 kl. 23:00



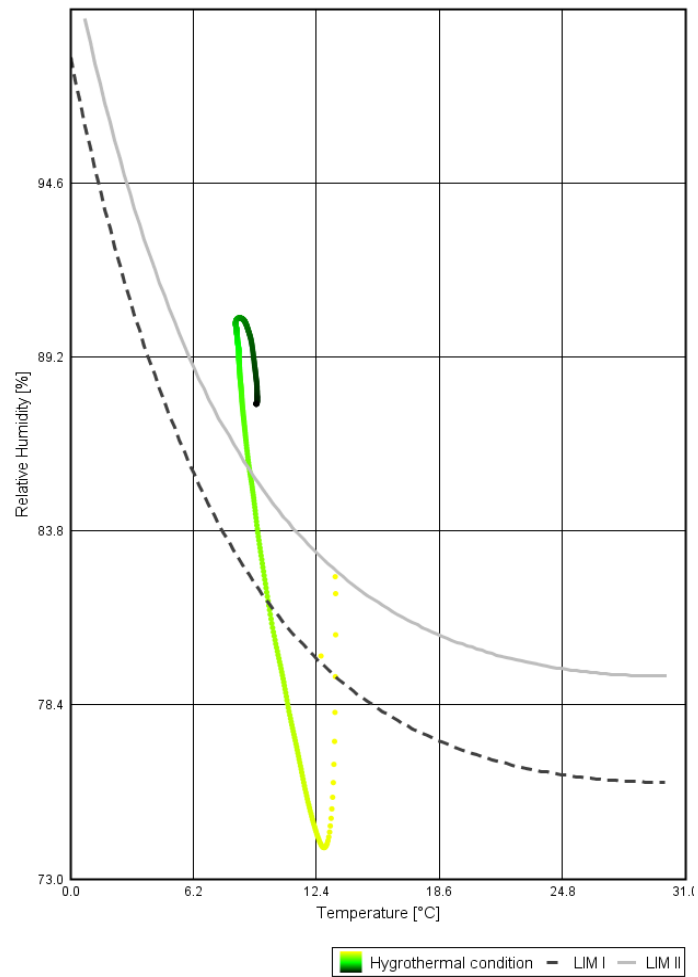
Figur 6.8. Viser resultat fra nåværende løsning for Øvreveien terrasse etter 342 timer. Dette tilsvarer: 21.03.2019 kl. 22:00

For å undersøke kondensfare i konstruksjonene ble det i tillegg utført en fuktteknisk analyse. Resultatet gir et godt bilde av konstruksjonen, og gir en indikasjon på hvor man bør hente ut data for å undersøke faren for muggsopp. I figur 6.9 kan man se at RF er høyt i overgang mellom isolasjon og betong, det ble derfor hentet ut data fra dette området. I vedlegg 10.6 kan man se område hvor data ble hentet ut. Figur 6.10 viser resultatet fra området. Gul farge indikerer starten på simuleringen, linjen blir gradvis mørkere frem til linjen går over i svart som angir slutten av simuleringen. Man kan se at linjen som markerer slutten på simuleringen ligger over LIM II, til referanse ligger gipsplate på LIM I og de fleste isolasjonstyper ligger på LIM II. Når resultat ligger over LIM for angitt materialtype indikerer dette fare for muggsoppvekst. Videre forklaring på isopleths, LIM I og LIM II kan sees i vedlegg 10.11.



Figur 6.9. Resultat fra simulering for relativ fuktighet

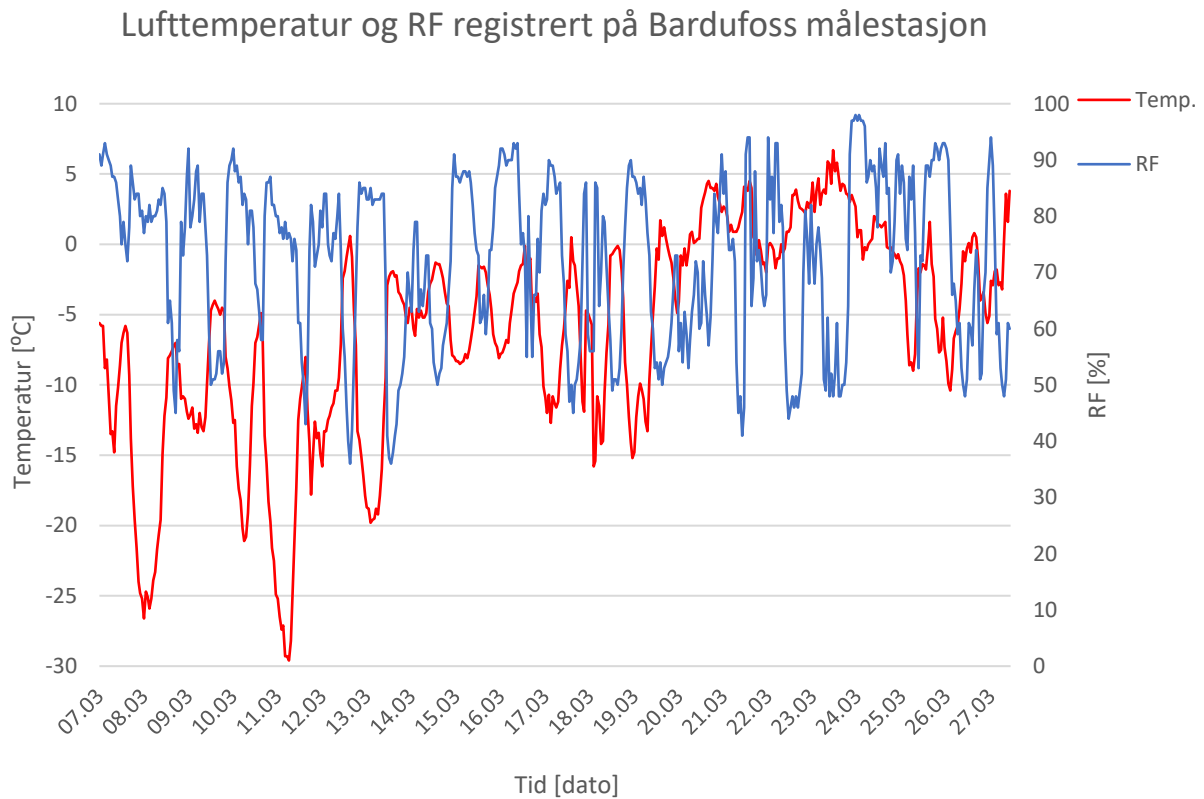
Isopleths



Figur 6.10. Muggsoppfaren for området data ble hentet ut fra.

7 Diskusjon

I dette kapitlet drøftes observasjoner og resultatene fra termografering, temperatur- og RF logging og simulering. Det presenteres også sammenligning mellom opprinnelig løsning for Øvreveien terrasse og en løsning der den overlappende isolasjonen er fjernet.



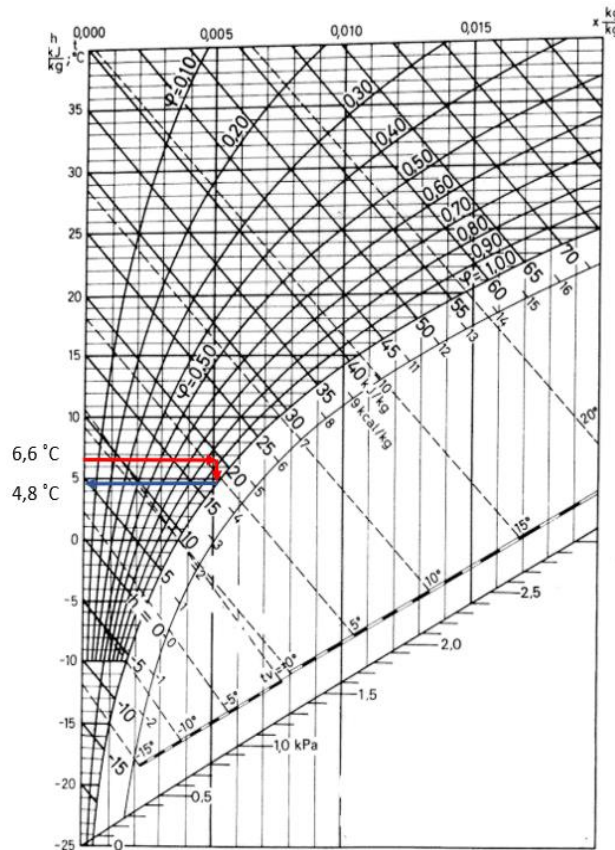
Figur 7.1. Temperatur og RF registrert på Bardufoss målestasjon i perioden hvor temperatur- og RF loggingen fant sted (Yr,2019f)

7.1 Temperatur- og RF logging

Før temperatur- og RF logging startet var det forventet at lave utetemperaturer ville gi de verste betingelsene i forhold til kuldebro- og kondensproblematikk. Det var derfor ønskelig med en kuldeperiode i løpet av tiden loggeren sto oppkoblet. Fire dager etter at loggeren var montert på Øvreveien terrasse ble den nest laveste temperaturen for 2019 registrert på Bardufoss målestasjon. Temperaturen som ble registrert var på $-29,8$ °C, på samme tidspunkt ble temperaturen utenfor Øvreveien terrasse målt til $-21,1$ °C (Yr, 2019d). Mot slutten av måleperioden ble det målt ett væromslag som regnes til å være normalt for Troms. Temperaturen steg fra rundt -10 til 1 °C på et


halvt døgn. Ifølge simuleringene som er gjort med data fra måleperioden har vist seg at det er slike værromslag som gir det verste tilfellet i forhold til kondensproblematikk.

24.03.2019 Kl. 10:59 ble målingen tegnet inn i figur 7.2 gjort. Det ble målt en lufttemperatur inne i garasjelegget på 6,6 °C. Kaldeste overflatetemperatur på betongen var noden S.1.2 som målte 4,5 °C. Ved å lese av Mollierdiagrammet i figur 7.2 ser man at det felles ut kondens på overflater som holder en lavere temperatur enn 4,8 °C. Etter målingene som ble gjort for dette tidspunktet, kan det tyde på at det ble felt ut kondens på overflater inne i garasjelegget. Loggeren var ikke koblet opp med WIFI mulighet, det ble derfor ikke foretatt noen befaringer for å bekrefte dette visuelt. Det foreligger kun data fra måleinstrumenter som antyder at det ble felt ut kondens på overflater. Det er gjort flere analyser vha. Mollierdiagram vist i vedlegg 10.8 og 10.9. Ut fra datosøk, vist i figur 7.3, kan man se at luftfuktigheten er høy for tidspunktet. Det skyldes trolig regnværet som varte frem til kl. 14:00 samme dag. For dette tilfellet hadde temperaturen vært relativt høy fra 20.03.2019 og frem til dagen det ble målt en RF på 87,7 % (24.03.2019 kl. 10:59).



Figur 7.2. Viser høyeste RF som ble målt inne i garasjelegget på 87,7 % ilt. måleperioden fra 07.03.2019 til 27.03.2019.

- Temperaturen inne i garasjelegget var da på 6,6 °C, vist med vannrett rød pil.
- Loddrett rød pil indikerer når relativ luftfuktighet når 100 %.
- Blå vannrett pil viser temperatur til den mettede luften, avlest temperatur er på 4,8 °C.

Tidsp.	Vær	Temperatur			Nedbør	Vind		Luftfuktighet
		Målt	Maks	Min		Middel	Kraftigste vindkast	
søndag kl 11		1,4°	2,0°	1,0°	1,4 mm	↪ Frisk bris, 8,0 m/s fra vest	13,5 m/s	90 %

Figur 7.3. Datasøk 24.03.2019 fra Bardufoss målestasjon kl. 11:00. (Yr, 2019c)

Et verre scenario ville vært om temperaturen økte raskere enn den gjorde for dette tilfellet, siden betongen har høy varmelagringsevne. Konstruksjonen ville da holdt en lavere temperatur som ville resultert i at duggpunktstemperaturen inntraff tidligere og vart lengere. Det ville da ført til at andelen kondens på konstruksjonen hadde blitt høyere.

Måleområde A

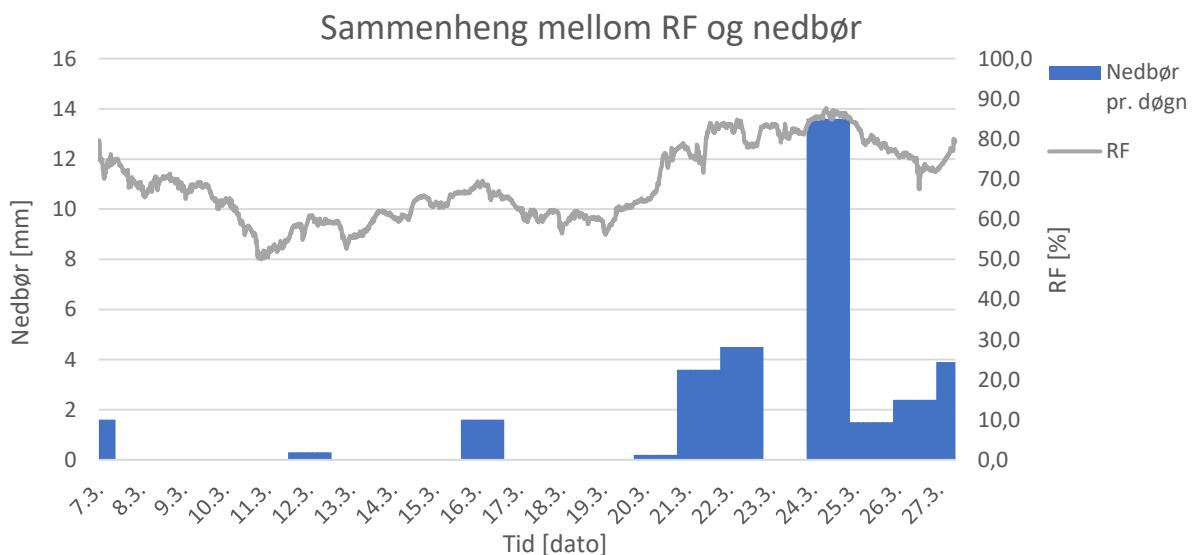
Utformingen av overgangen mellom hulldekket og isolasjonen er et område som typisk vil gi en geometrisk kuldebro, dette fører normalt til en lavere temperatur i overgang mellom isolasjonen som følge av dette. Resultatet fra temperatur- og RF logging viste senere at de laveste temperaturene var i nettopp overgangen mellom hulldekket og isolasjonen. Ut fra simuleringene kan det se ut til at det også er andre elementer som er med og senke temperaturen for området.

Som presentert i kapittel «5.2 Resultater fra temperatur- og RF logging» var den registrerte overflatenetemperaturene på isolasjonen (A3.1 og A3.2) høyere enn for de andre målepunktene, det kan være flere årsaker til dette. Det kan komme av varmegjennomgang fra overliggende leiligheter som er nærmere disse punktene enn øvrige, i tillegg til at punktene ligger lengere ifra betongen som kan trekke temperaturen ned i kalde perioder. Ut fra den hyppige temperaturvariasjonen kan man tyde flere ting. Om man sammenligner nodene som er plassert på isolasjonens overflate med betongen, følger nodene som er plassert på isolasjonens overflate lufttemperaturen i garasjelegget i mye større grad enn de øvrige nodene. Dette tyder på at materialet de er plassert på har lav varmekapasitet. En mer stabil temperatur på isolasjonen ville imidlertid tydet på at varme slipper igjennom, ut ifra simuleringene i kapittel 6 kan det se ut til at det er lite varmestrøm mellom leiligheter og ut igjennom isolasjonen.

Måleområde B

Ved en rask sammenligning ser kurvene fra måleområde A og B veldig like ut. Den åpenbare forskjellen er at temperaturene på betongens overflate ligger mer samlet, med ca. 1 °C differanse mellom det varmeste og det kaldeste punkt. I tillegg er differansen mellom betongens og isolasjonens overflate større. Disse forskjellene fra måleområde A kan skyldes en betydelig økning av betongmasse pga. bjelken, som betyr et utjevnet temperaturforløp på grunn av betongens økte varmekapasitet. Påstanden kan styrkes ved å sammenligne grafene fra måleområde A og B, man ser at grafene for måleområde B er flater og mangler de største utslagene noe som gjelder hele måleperioden. I tillegg har eventuell tilskuddsvarme fra leilighetene lengere vei ned til målepunktene på grunn av bjelken, og varmestrømmen når dermed ikke frem til målepunktene i like stor grad som for måleområde A. I tillegg er det til tross for betydelig mindre isolasjon i måleområde B, også her forholdsvis store utslag på kort tid for målenodene som er plassert på isolasjonens overflate.

Av RF-kurven i figur 7.4 ser man at det er en tydelig sammenheng mellom RF og nedbør i området. Samtidig som de to markante økningene av RF fant sted, den ene rundt 15.03 og den andre mot slutten av måleperioden, var det mildvær, regn og høye RF-verdier ble målt på Bardufoss målestasjon. Verdien ligger i flere dager over 80 %, og tidvis opp mot 90 %. Til tross for små temperaturdifferanser mellom luften inne i garasjeanlegget og de målte overflatetemperaturer er det registrert tilfeller hvor forholdene ligger til rette for kondensering på overflatene. Ved kraftigere værromslag, hvor betongen og øvrige tunge konstruksjoner ikke har rukket komme i «termisk likevekt» med omgivelsene, vil det være fare for kondens på slike overflater inne i garasjeanlegget.



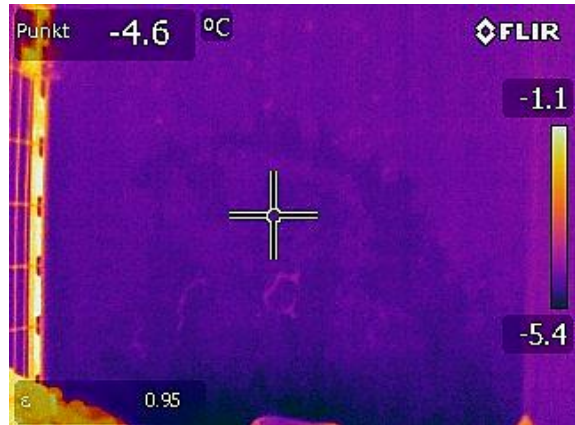
Figur 7.4. Sammenheng mellom nedbør målt på Bardufoss målestasjon og RF målt inne i garasjeanlegget (Yr, 2019f).

7.2 Termografering

I en av bodene viste termogramkameraet en temperaturdifferanse på en homogen vegg jf. figur 7.5 og 7.6. Når veggen ble studert nærmere viste det seg at det lå ett tynt islag på veggen i området med den registrerte differansen. Siden avviket var såpass lokalt antas det at grunnen til differansen er utstyr som har stått lagret opp langs veggen, slik at området har blitt kaldere enn resten av veggen. Deretter har det blitt felt ut kondens på overflaten, som videre har fryst til is på veggens overflate.



Figur 7.5. Fotografi av bod (Foto: Emil Pettersen)



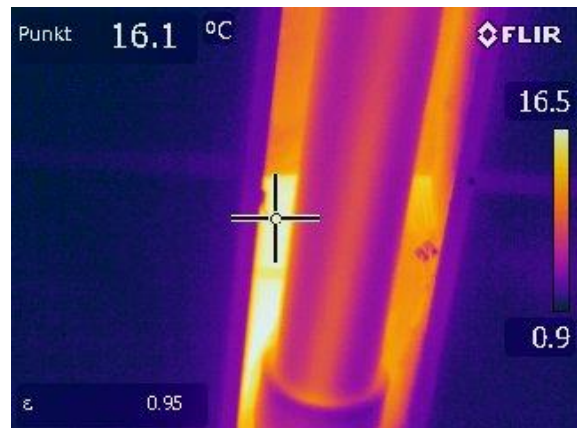
Figur 7.6. Termogram av bod (Foto: Emil Pettersen)

Oppbevaring av gjenstander mot kalde overflater kan skape problemer, siden gjenstandene gjør at luften blir stående stille på baksiden. Gjenstanden fungerer isolerende og temperaturen faller derfor lavere mellom veggen og gjenstanden, dette øker kondensfaren. Om gjenstandene i tillegg er av organisk materiale kan det ved økt fuktighet også dannes mikroorganismer. Man bør derfor vær obs. på hvordan man velger å lagre gjenstander i slike boder. En løsning for å minimere problemet vil være og plasser nettinggjerdet mot betongveggene, det vil sikre at utstyr ikke blir lagret på en slik måte at luft blir stående stille mot betongveggen.

Under befaringen ble det observert ett avvik nede i garasjelegget, avviket ble termografert å kan sees i figur 7.8. Fra figuren kan man se at temperaturvariasjonen på overflatene som ble termografert er 15,6 °C. Følgene av avviket behøver ikke å være så alvorlig som termogrammet antyder, det trenges nærmere undersøkelser for å fastslå hvor alvorlig varmetapet fra området er. Følgene til varmetapet vil sannsynligvis føre til en ubehagelig gulvtemperatur i leiligheten over. Kondensfaren i tilfarergulvet fra leiligheten og ned mot hulldekket vil også øke som følge av avviket. Det er usikkert hva som er grunnen til avviket, men dette er enten en prosjekteringsfeil eller en utførelsesfeil. Selv om det ser alvorlig ut er det verken tidkrevende eller kostbart og utbedre feilen. Det finnes lavere punkt i garasjelegget, derfor er det mulig å fylle inn med isolasjon der denne mangler for så å plassere en 5 cm himlingsplate med isolasjon som dekker over. Lignende løsninger var gjort opptil flere andre steder i garasjelegget jf. figur 7.9.



Figur 7.7. Fotografi av overvannsrør med manglende isolasjon omkring røret (Foto: Emil Pettersen)



Figur 7.8. Termogram av overvannsrør med manglende isolasjon omkring røret. Avviket mellom hulldekkets overflate over røret og isolasjonens overflate er på 15,6°C (Foto: Emil Pettersen)



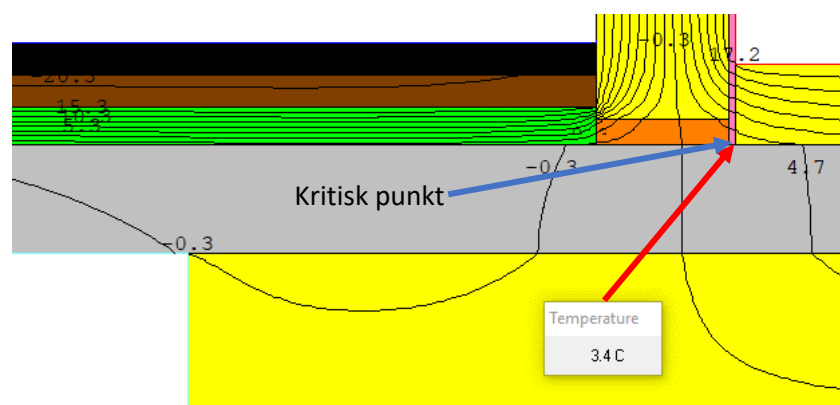
Figur 7.9. Løsning for overvannsrør som ligger under planlagt himlingshøyde (Foto: Emil Pettersen)

7.3 Simulering

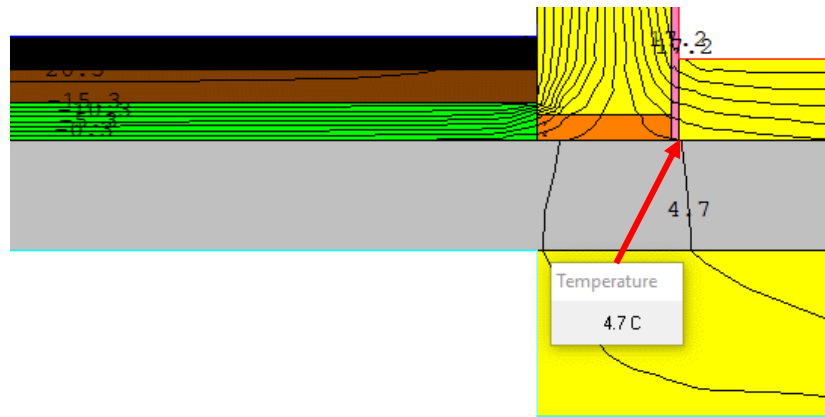
Forventningene til brukervennligheten og resultatene for THERM var i starten lavere enn for WUFI 2D, siden programmet er gratis. Dette viste seg å ikke stemme, underveis i prosessen kom det frem at programvaren ble oppdatert jevnlig. I tillegg var det enkelt og komme i direkte kontakt med programutviklerne via forum om man trengte hjelp til modellen, forumet ble besvart daglig. Etter sammenligning mellom de to stasjonære simuleringmodellene ble det bekreftet at THERM er et program som egner seg godt til vurdering av kuldebro, simuleringene tar i tillegg mye kortere tid. I tillegg til å ha en raskere simuleringmodell har THERM også et bedre visningsverktøy for å illustrere temperaturvariasjonene for konstruksjonen. Dette er noe man setter pris på når man skal se effekten av ulike endringer man gjør i modellen. THERM ble derfor benyttet for å se på ulike løsninger og effekten av disse. Fordelen med WUFI 2D er at programmet kan gjøre transiente simuleringer, på denne måten kan man se effekten på konstruksjonen når temperaturen og luftfuktigheten endrer seg. Dette er en funksjon som er spesielt viktig om man simulerer for å se faren for kondens. For enkle modeller er det tilstrekkelig å simulere med stasjonære forhold. Modellen som ble simulert i denne oppgaven faller imidlertid ikke inn under denne kategorien, dette utdypes nærmere i konklusjonen.

7.3.1 Stasjonær simulering

Ut ifra simuleringen ser det ut til at isolasjonen som er ment å minske effekten av kuldebroen gjør det motsatte. Resultatet var i starten noe overraskende, men lar seg forklare. Luften i garasjelegget har pga. tilskuddsvarme fra leilighetene over, høyere temperatur enn uteluften, noe som for øvrig også vil gjelde for store deler av vinteren. Isolasjonen som overlapper området mellom kald og varm side, er med på å flytte nullpunktet dypere ned i hulldekket. Det kalde hulldekket med høy varmekapasitet forplanter seg derfor videre langs hulldekket, og senker temperaturen inn under leiligheten. I kritisk punkt på figur 7.10 er temperaturen på 3,4 °C. Resultatet kommer enda tydeligere frem når den overlappende isolasjonen fjernes helt, og resultatene sammenlignes. I figur 7.11 hvor den overlappende isolasjonen er fjernet ligger samme punkt på 4,7 °C, altså 1,3 °C høyere enn samme punkt for figur 7.10.

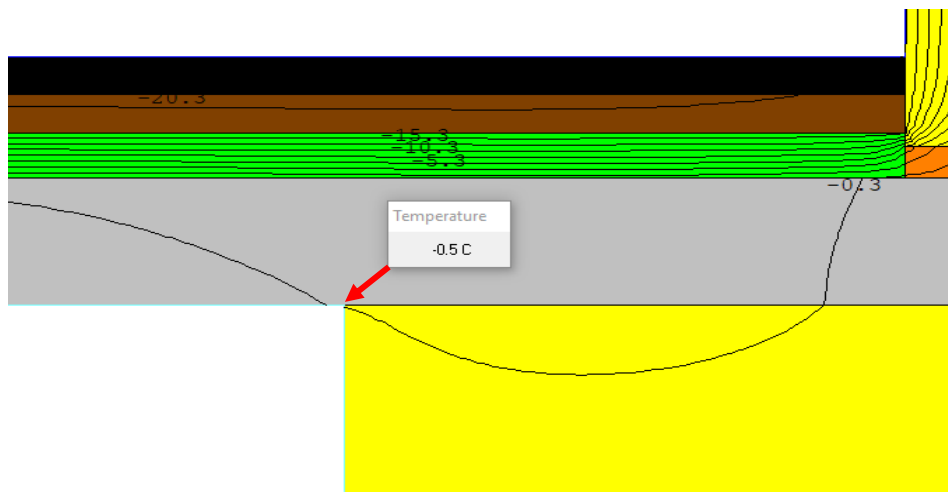


Figur 7.10. Opprinnelig løsning Øvreveien terrasse



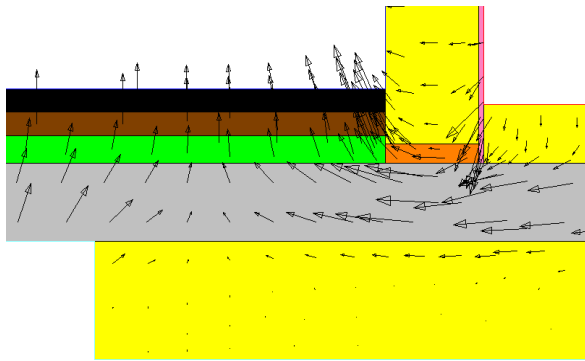
Figur 7.11. Resultat fra simulering utenoverlappende isolasjon som stikker 760 mm ut på hulldekket

Temperaturene registrert fra loggingen vil også kunne bygge opp om resultatene fra simuleringene. Ett registrert tilfelle var 11. 03. 2019, på natten var temperaturen ute målt til $-21,1^{\circ}\text{C}$, i løpet av dagen steg temperaturen ute til $-9,1^{\circ}\text{C}$. Likevel ble den laveste overflatetemperaturen på betongen målt 15 timer og 20 minutter etter målingen på $-21,1^{\circ}\text{C}$. Overflatetemperaturen som ble målt på betongoverflaten var $-0,7^{\circ}\text{C}$, kun $0,2^{\circ}\text{C}$ unna resultatet fra simuleringen som kan ses i figur 7.12.

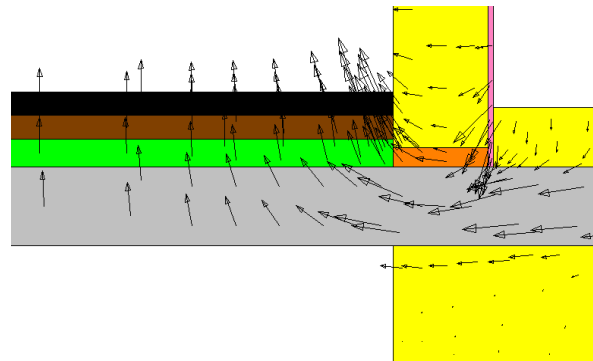


Figur 7.12. Viser temperatur i samme punkt som nodene målte 11.03.2019

Ved å vise resultatet med vektorer kan man tydelig se hvordan varmestrømmen beveger seg. Det man ser fra simuleringen er at varmestrømmen fra leilighet tar «enkleste» vei ut. Fra termodynamikken bevises det at varmestrømmen går fra varmt til kaldt, temperaturvariasjonen mellom leiligheten og gasjeanlegget er mindre enn temperaturvariasjonen mellom leiligheten og uteluften. Den dominerende varmestrømmen vil derfor hovedsakelig gå slik vektorene viser i hhv. figur 7.13 og 7.14.

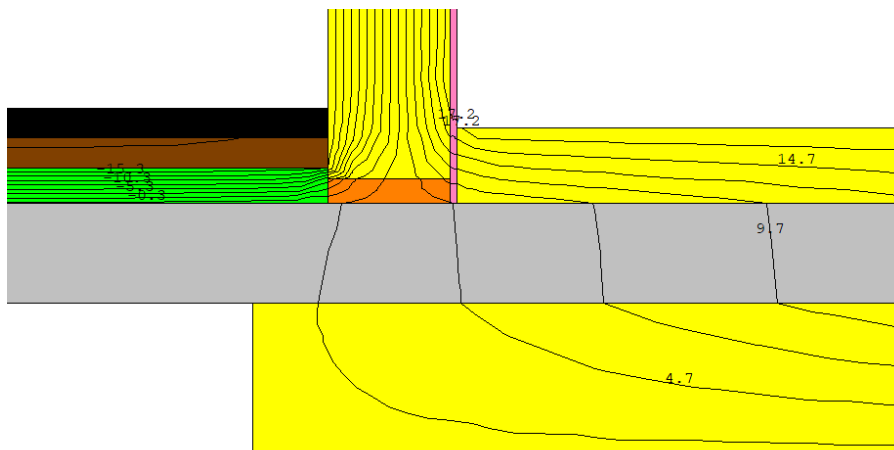


Figur 7.13. Opprinnelig løsning, vist med vektorer. Vektorene viser retningen og størrelsen til varmestrømmen



Figur 7.14. Opprinnelig løsning med overlappende isolasjon fjernet, vist med vektorer. Vektorene viser retningen og størrelsen til varmestrømmen

Overlappende isolasjon i garasjeanlegget vil være fordelaktig om man finner riktig lengde for denne. Man må da finne en lengde som ligger i balanse mellom det og isolerer for varmetap og likevel ikke isolerer så mye at nullpunktet flytter seg dypere ned i betongen. Fra simulering er det kommet frem til at gunstig lengden på overlappende isolasjon er 15 cm, vist i figur 7.15. Korte ned overlappende isolasjon vil være mulig å gjennomføre i etttertid.

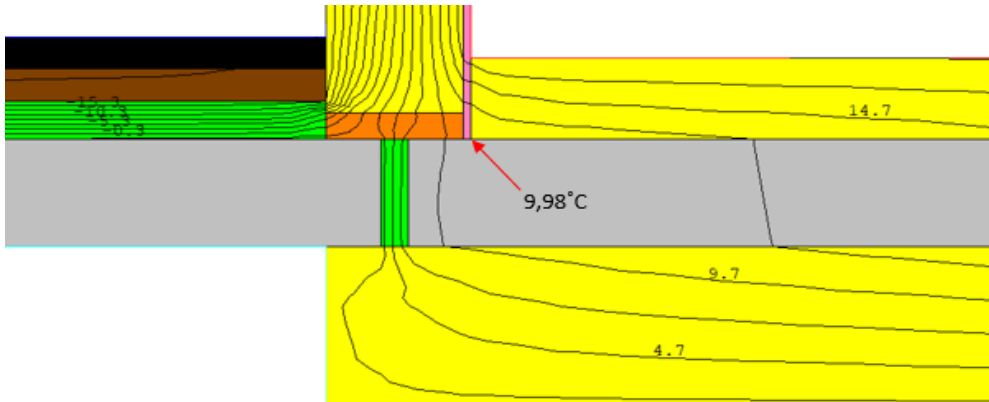


Figur 7.15. Resultat viser gunstig lengde for overlappende isolasjon på 15 cm

Ifølge simuleringer blir resultatet bedre med 15 cm overlappende isolasjon, likevel er ikke temperaturen tilstrekkelig høy i kritisk punkt for å unngå utfelling av kondens. Kondens i dette området vil være mer alvorlig en kondens på en betongoverflate inne i garasjeanlegget pga. området er mindre luftet, og det er tilgang på organisk materiale. Inneluften er i tillegg varmere, noe som gjør at den holder på mere fukt, en eventuell kondensering vil gjøre at det felles ut større mengder fukt.

Slik bærekonstruksjonen er i dag for Øvreveien Terrasse ville man kunne benyttet seg av løsningen som er vist i figur 7.16. Bærende bjelkerad strekker seg fra fremside av bygg og til baksiden, hulldekker er støttet opp på disse med lengderetningen fra øst til vest. Mellom disse hulldekkene kunne man plassert 5 cm XPS for å bryte kuldebroen. Med 5 cm XPS mellom hulldekkene vil temperaturen øke med 6,4 °C og ende på 9,98 °C i kritisk punkt. Simulering med 5 cm XPS mellom hulldekker med infrarød visning kan sees i vedlegg 10.12. Det er i tillegg gjort en simulering for XPS på 10 cm tykkelse mellom

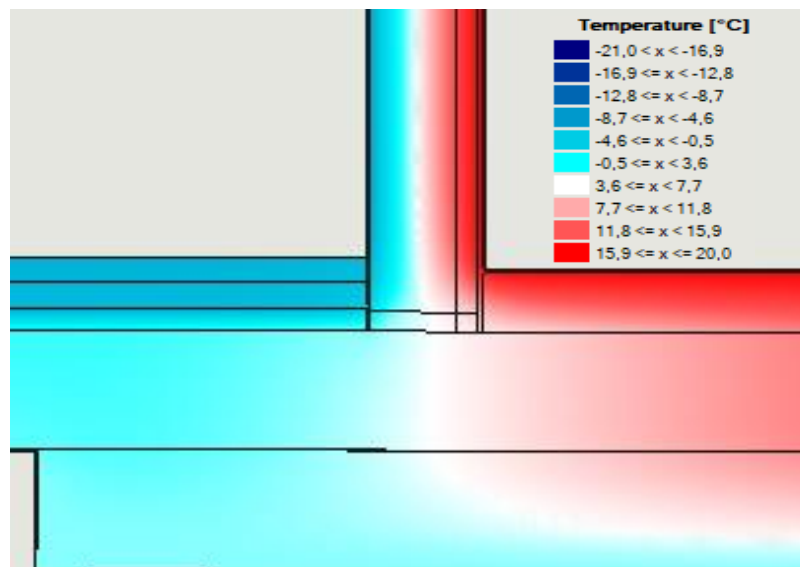
hulldekkene som kan ses på vedlegg 10.10. Løsningen med XPS mellom hulldekker kan også benyttes for bygg der bæresystemet er rotert 90 grader. Løsningen vil imidlertid ikke være ideell siden dette vil kreve en lengre flens der hulldekket er støttet opp på den enkle/doble sofabelken. Løsningene som beskrives med XPS mellom hulldekker vil imidlertid bli problematisk og kostbar om den skal implementeres i ettertid for bygg som allerede er bygget.



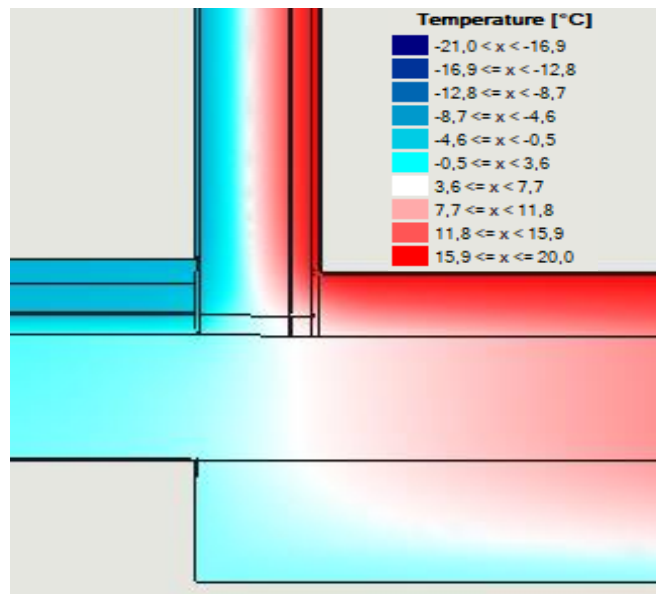
Figur 7.16. Anbefalt løsning med 5 cm XPS mellom hulldekker

7.3.2 Transient simulering

I figur 7.17 og 7.18 er løsning med overlappende isolasjon, og uten overlappende isolasjon sammenlignet. Ut fra resultat kan man se at tilfellet med overlappende isolasjon gir best resultat for dette tidspunktet, det er likevel meget liten forskjell. Dette resultatet er hentet 200 timer ut i simuleringen, for denne perioden hadde det vært kaldt over en lengere periode. Fra temperatur- og RF logging har det blant annet vært en temperaturstigning ute på 18 °C fra ca. -20 °C til -2 °C. Det kunne ikke sees noe utslag fra denne hendelsen som forplantet seg dypt nok ned i hulldekket og inn på kritisk punkt som er vist i figur 7.10.

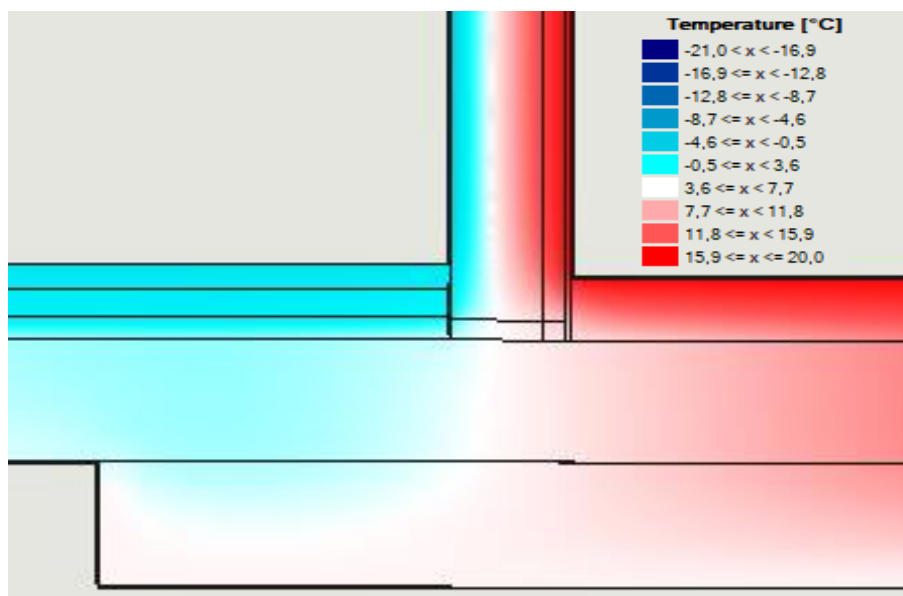


Figur 7.17. Viser resultat fra opprinnelig løsning for Øvreveien terrasse etter 200 timer. Dette tilsvarer: 15.03.2019 kl. 23:00

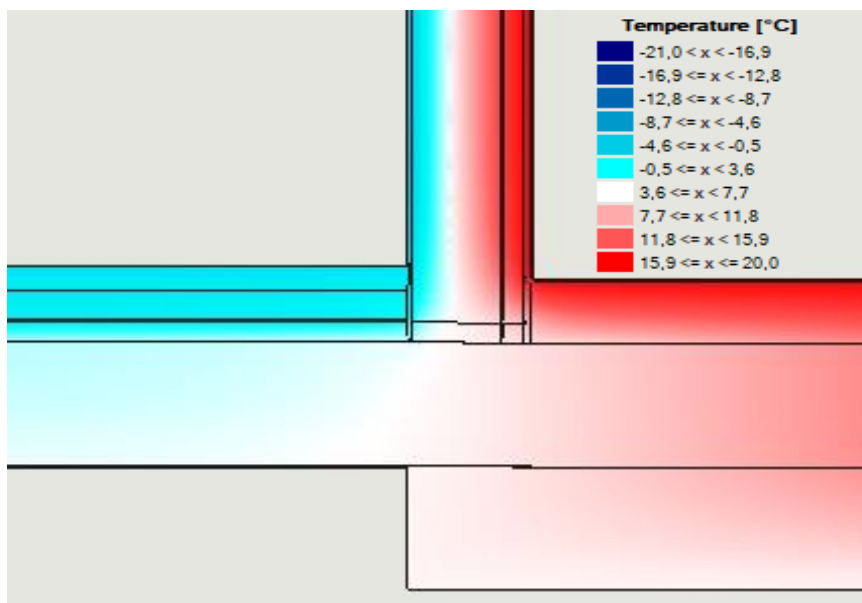


Figur 7.18. Viser resultat fra opprinnelig løsning med overlappende isolasjon fjernet etter 200 timer for Øvreveien Terrasse. Dette tilsvarer: 15.03.2019 kl. 23:00

Perioden før 21.03.2019 er ikke preget av noen lave temperaturer som avviker fra normalen, det har vært to dager før med temperaturer ned mot -15°C . Den 20.03.2019 kl. 05:00 steg temperaturen over 0°C . I løpet av måleperioden har temperaturer steget, for så å falle ila. kort tid. Det som var spesielt med dette tilfellet var at temperaturen steg for så å holde seg stabil. Det er resultatet fra dette man kan se i figur 7.19 og 7.20. Ut fra simuleringen kan det se ut til at det er dette temperturbilde som gir negativ innvirkning for den overlappende isolasjonen.



Figur 7.19. Viser resultat fra opprinnelig løsning for Øvreveien Terrasse etter 342 timer. Dette tilsvarer: 21.03.2019 kl. 22:00



Figur 7.20. Viser resultat fra opprinnelig løsning med overlappende isolasjon fjernet etter 342 timer for Øvreveien Terrasse. Dette tilsvarer: 21.03.2019 kl. 22:00

Oppsummering

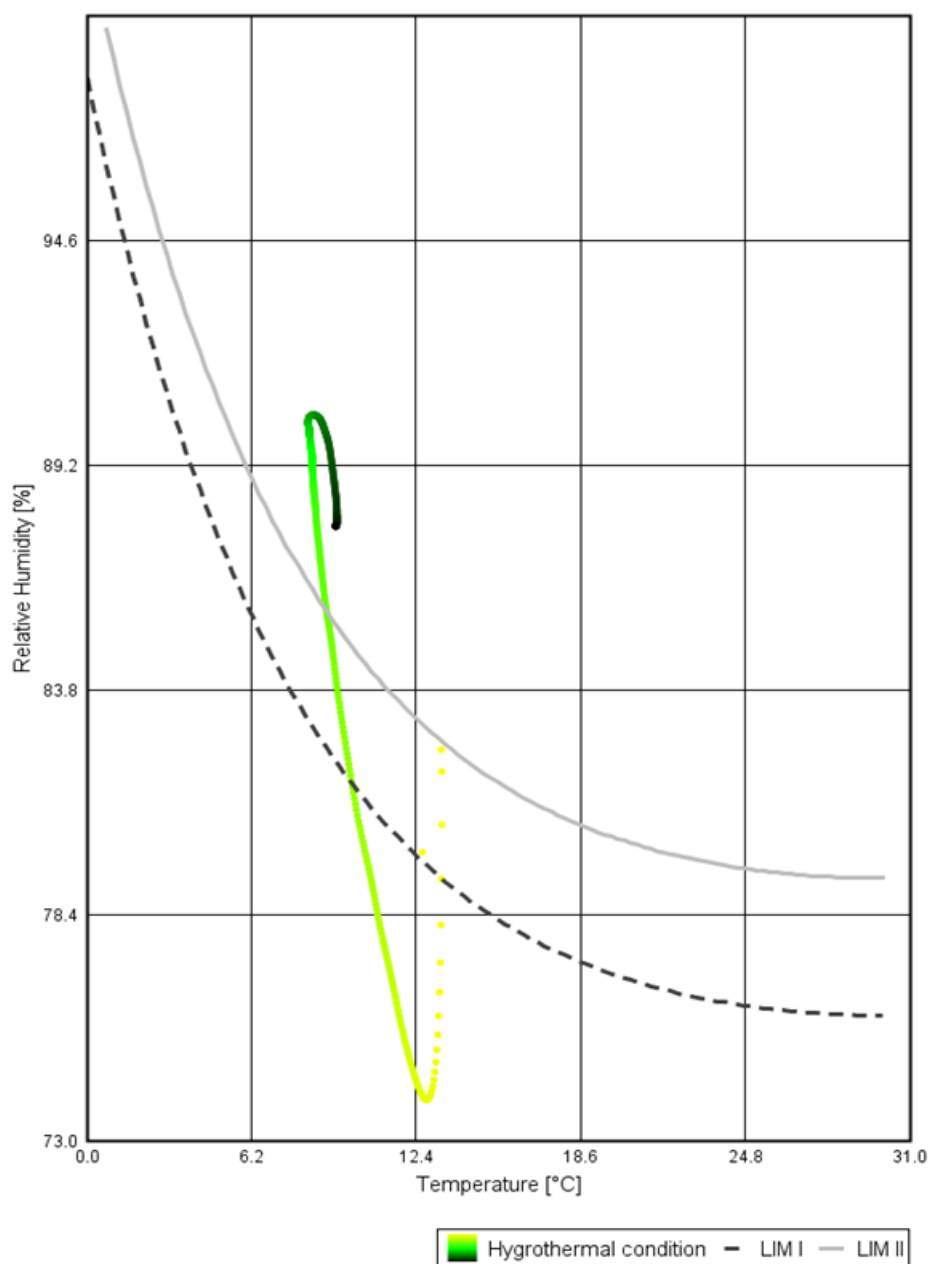
Ved å tolke resultatene fra transiente simuleringer kan det se ut til at væromslag der temperaturen holder seg stabil etter temperaturstigningen gir negativ innvirkning for bygningsdelen. Dette kommer sannsynligvis av tregheten i betongen. Ved hyppige temperaturvariasjoner holder ikke temperaturen seg tilstrekkelig lenge til at dette skal gi noen tydelige utslag i simuleringmodellen.

Uansett hvordan man tolker resultatene er ikke løsningen med utstikkende isolasjon gunstig, grunnen til dette er for at løsningen ikke bryter kuldebroen. For å bryte kuldebroen skikkelig må man finne en løsning som gjør at hulldekket ikke går kontinuerlig fra utsiden og inn i garasjelegget/leilighetene.

7.3.3 Muggsopp

I tillegg til å simulere varmetransport ble det også simulert for muggsoppfare. Resultat fra simuleringen viser at det er fare for muggsopp i punktet som er henvist som kritisk punkt i figur 7.10. Plottingen for figur 7.21 er over linjen LIM II. Det vil si at det kan vokse muggsopp på isolasjonen og betongen som kategoriseres som LIM II, i tillegg kan det vokse muggsopp på gipsplaten som er kategorisert til LIM I. Data er hentet ut fra området vist i vedlegg 10.6. Videre forklaring på isopleths, LIM I og LIM II kan sees i vedlegg 10.11.

Isopleths



Figur 7.21. Muggsoppfaren for området data ble hentet ut fra. Gul farge indikerer starten på simuleringen, linjen blir gradvis mørkere frem til linjen går over i svart som angir slutten av simuleringen.

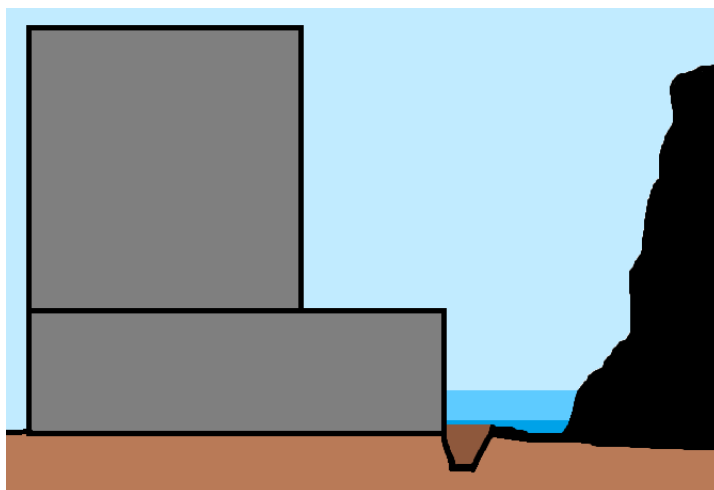
7.4 Observasjoner på bygg

Under befaring på Øvreveien terrasse ble det ikke observert noen store og alvorlige skader på betongen, det ble kun observert enkle områder med malingsavskalling. Området med avskalling av maling var inne i en av bodene til en nylig utflyttet leilighet. Det ble ikke gjort andre slike funn inne i garasjeanlegget, skaden er med andre ord lokal. Det mistenkes derfor at skadene kan være på grunn av utstyr som har blitt lagrett opp mot ytterveggen, og har forårsaket kondens og fuktighet på betongoverflaten. Malingen var fortsatt myk, og området var fortsatt fuktig.



Figur 7.22. Viser maling som har flakket av betongveggen inne i bod nr. en (Foto: Emil Pettersen)

Baksiden av bygget er vendt mot fjellsiden, og er utformet på en slik måte at det er utilgjengelig for snørydding med maskiner. Med vær som varierer mellom varmt og kaldt, kan smeltevannet fryse og danne ett «lokk» som hindrer vann i og renne ned i dreneringen. Vannoppsamlingen som da kan forekomme vil gi et vanntrykk mot betongveggen, slik at vann trenger inn i betongkonstruksjonen. Opprinnelig var bygget prosjektert med en nedfylt vegg i bakkant. Når man prosjekterer et bygg som er nedfylt i masser tar en høyde for at det vil ligge perioder med fuktige masser mot yttervegg og bygger det etter de forutsetningene. Når en ikke prosjekterer for slike tilfeller og de likevel forekommer, kan man imidlertid møte på problemer. Øvreveien terrasse ble overlevert 1. November 2017, ila. denne perioden har det ikke vært dokumentert noen problemer med nåværende løsning. Det er heller ingen garanti for at det kommer til å skje noen form for vannoppsamling i fremtiden. Men når man jobber med løsninger innenfor bygningsfysikk må en være kritisk og belyse problemer som kan skape problemer i fremtiden om de rette forutsetningene er til stede.



Figur 7.23. Illustrerer is som danner ett «lokk» over dreneringen slik at smeltevann blir hindret og renne ned i dreneringen. Smeltevann kan bli stående og trykke mot betongveggen som følge av dette. (Illustrasjon: Emil Pettersen)

Som nevnt tidligere var Øvreveien terrasse overlevert 01.11.2017, TEK 17 trådte i kraft 01.07.2017. Bygget er derfor prosjektert etter TEK 10. Et av kravene for både TEK 17 og TEK 10 er universell utforming, man må derfor tilpasse bygget slik at mennesker med bevegelseshemninger og spesielle behov kan bruke bygget. En av detaljene for dette er inngangspartiet til leilighetene. For at rullestolbrukere skal kunne komme seg lett inn i leiligheten er dørterskelen lav, som figur 7.25 også viser. Ene og alene fører ikke løsningen med seg noen problem, men sett i kombinasjon med ringvirkninger av uheldige hendelser kan løsningen by på problemer. Vinteren 2019 har vært snørik og det har derfor samlet seg store mengder snø oppe på terrassen like utenfor leilighetene, vist i figur 7.24. Ved mildvær og en rask temperaturøkning kan store mengder snø smelte. Om natten kan den våte snøen fryse til is og hindre smeltevann i å renne ned i sluk når temperaturen starter å stige igjen om dagen. Selv om det er fall fra døren, skal det ikke mye vann til før vannet når døren. Det er ikke så mange andre tiltak som kan gjøres for nåværende løsning enn å unngå å lagre så store mengder snø oppe på terrassen. For fremtiden kan løsning med nedfelt rist foran inngangsparti vist i vedlegg 10.7 være aktuell.



Figur 7.24. Mengden snø som blir lagret opp på terrassen. Under snøen ligger terrassebord og drenering med lokalt fall mot sluk (Foto: Emil Pettersen).



Figur 7.25. Lav terskel ved inngangsparti til leiligheter fra takterrasse (Foto: Emil Pettersen).

I fremkant av bygget mor sør-øst er det fire avtrekksvifter, i bakkant av bygget er det naturlig tilluft. I tillegg luftes garasjelegget når biler kjører inn og ut av bygget. Vaktmesteren til Øvreveien terrasse informerte om at kun en av disse avtrekksviftene var i bruk om vinteren. Dette var på grunn av at temperaturen ble meget lav om vinteren hvis alle avtrekksviftene var i drift. På grunn av garasjeporten er det vanskelig å beregne antall luftskift per time, det er heller ingen krav om dokumentasjon av dette i TEK 10. Etter å ha analysert målingene viser ikke disse tydelige fall for RF om morgenen, og heller ingen tydelig økning etter beboere kommer hjem fra jobb fra kl. 15:00 til 16:30. Dette kan tyde på at RF i hovedsak følger været, og ikke påvirkes i noen vesentlig grad av smeltevann fra biler og andre påvirkninger fra beboere. Ut ifra disse tolkningene tyder det på at ventilasjonen inne i garasjelegget er tilstrekkelig. Det var heller ingen tegn på damper og fukt inne på gulvet i garasjelegget. Selv om det ikke er ett krav om sluker inne i garasjelegg, er det rikelig med sluker og godt fall mot sluker. Det at relativ luftfuktighet blir så høy at det er fare for at det felles ut kondens på overflater, sees det ingen umiddelbar løsning på med dagens ventilasjonsanlegg. Som nevnt tidligere påvirkes ikke den relative luftfuktigheten i noen vesentlig grad av beboerne. Det å dra luft som har høy RF inn i et kaldt betongbygg sees derfor på som hovedproblemet. Om ventilasjonen justeres opp blir en ikke kvitt problemet, det vil sannsynligvis bare bli verre siden det tilføres større mengder luft, og derav større mengder fukt inn i bygget. Det man eventuelt kan gjøre er å installere luftavfuktere på tilluften.

Kondens på overflater trenger ikke i alle tilfeller og være så alvorlig om det får mulighet til å tørke mellom hver gang hendelsen inntreffer. Ved så lave temperaturer som det er i ett kald garasjeanlegg støter man på faren for vekst av mikroorganismer når fukten får mulighet til å ligge over tid. Ett annet tiltaket er å heve temperaturen inne i garasjeanlegget slik at overflatetemperaturene kommer over duggpunktstemperaturen.

Garasjeanlegget til Øvreveien terrasse er ikke bygget med betongdekke på grunn, dekket er belagt med steinheller og bæringen er støpt på fundamenter av betong som ligger under steinhellene. Ett dekke av steinheller gjør at en ikke får de samme farene med klorider på dekket som vanligvis er inne i garasjeanlegg. Steinheller har i tillegg god slitestyrke og man trenger heller ikke å bekymre seg over slitebelegg som kan løsne fra betongen på grunn av piggdekkslitasje.

8 Oppsummering

De siste årene har klimaendringer fått en stadig større plass i nyhetsbildet. Det er ikke uten grunn. Historiske værdata, samt rapporter utarbeidet av FNs klimapanel, viser at det har vært betydelige endringer de siste 20 årene med høyere temperaturer, mer vind, nedbør, kraftigere og hyppigere ekstermvær. Tendensen er i tillegg økende. Uavhengig om årsak er menneskeskapt eller om det skyldes naturlige sykluser, så er dette noe vi må forholde oss til. Flere har innsett at noe må gjøres dersom klimaet i fremtiden skal opprettholdes slik som i dag. Dette påvirker oss på så mange områder at det er vanskelig å forestille seg alle. Byggebransjen blir rammet av klimaendringene på flere områder, blant annet i form av økende fokus på reduksjon av utslipp i byggefasen og byggets levetid, for å prøve å stoppe den negative utviklingen av klimaet. Andre forhold er økt fukt- og vindbelastning forårsaket av klimaendringene (FN, 2018). I tillegg til økt fokus på å minske byggeskader i forbindelse med fukt, klimaendringene bidro til at en ny og klarere forskrift trådte i kraft i 2013. I forskriften var forebygging av fuktrelaterte problemer, og dermed den bygningsfysiske delen av forskriften, mer vektlagt. Siden 2013 og frem til i dag har dette fokuset blitt forsterket, og bygningsfysikere blir mer og mer ettertraktet i arbeidsmarkedet.

På bakgrunn av dette, og et brennende engasjement for fagfeltet, ønsket forfatterne å skrive en oppgave innenfor bygningsfysikk. Gjennom samtaler med Consto høsten 2018 kom problemstillingen om bygningsfysiske utfordringer i kalde garasjelegger til. Det ble etter hvert bestemt at oppgaven skulle fokusere på detaljen i overgangen mellom leilighetene, uteområdet og garasjelegget på boligblokkene Øvreveien terrasse på Bardufoss, D17 i Narvik og Holstneset i Harstad. Fra Constos side var det et ønske å studere detaljen i forhold til kuldebro- og kondensproblematikk. Boligprosjektene D17 samt Holstneset ble tidlig i prosessen utelukket på grunn begrenset tilgang på loggeutstyr og mangel på tilgang til byggene for logging.

Gjennom møter mellom oppdragsgiver og veiledere ved UiT campus Narvik ble det sluttet at det som et minimum skulle utføres temperaturlogginger av utvalgte overflater, lufttemperatur inne og utenfor garasjelegget, samt logging av RF inne i garasjelegget. Disse målingene kunne dermed brukes som startbetingelser i simuleringsprogrammene THERM og WUFI 2D. På denne måten kunne dagens løsning vurderes opp mot simuleringer av ulike andre løsninger for isolasjonen.

I ettertid har det vist seg at kombinasjonen med praktisk arbeid i form at logging og simuleringer er en meget lærerik og god måte å løse slike oppgaver på. Den praktiske delen av oppgaven bidrar til en dypere forståelse, i tillegg til at tolkningene av både målinger og simuleringer blir lettere når man kan relatere de til ett spesifikt sted. Selv om prosessen med planlegging, klargjøring av måleutstyr, rigging og ikke minst selve loggingen, som foregikk i tre uker var tidkrevende og ga følelse av manglende fremdrift, var det absolutt verdt det når resultatene var klare for tolkning. Når det er sagt, så har den mest utfordrende og tidkrevende delen av oppgaven uten tvil vært den teoretiske delen, hvor simuleringene og tolkningen av data inngår. Denne delen har imidlertid gitt en desto større

mestringsfølelse som etter hvert oppgaven har tatt form. Mengden arbeid med simuleringsprogrammene, og erfaringene som er gjort i prosessen, vil komme godt med i fremtiden.

8.1 Konklusjon

Arbeidet med oppgaven har fokusert på bygningsfysiske utfordringer tilknyttet kalde garasjelegger. Det er lagt spesielt vekt på kondens- og kuldebroproblematikk for én konkret bygningsdel. I tillegg har oppgaven tatt for seg endel vanlige skader i garasjelegger.

I perioden 07.03 til 27.03.2019 er overflatetemperaturer, lufttemperaturer og relativ luftfuktighet logget ved Øvreveien terrasse på Bardufoss. Hovedfokus har vært overgangen mellom leiligheter, uteområde og garasjelegger. Av måleresultatene kan man se at det til tider er fare for at det felles ut kondens på overflatene hvor målingene er gjort. Det er kombinasjonen av lave overflatetemperaturer og høy relativ luftfuktighet, særlig i perioder med værslag hvor det går fra kaldt vær til mildvær og regn, som har vist seg å være det problematiske i den registrerte måleperioden. Måleresultatene er tolket og deretter brukt som startbetingelser i simuleringsprogrammene THERM og WUFI 2D, hvor detaljen rundt overgangen er studert nærmere for kuldebro- og kondensproblematikk. Det er videre simulert alternative løsninger og plasseringer av isolasjonen i garasjeleggers tak for å fastslå nødvendig lengde på overlappende isolasjon, og om andre løsninger kan ha bedre effekt på temperaturforløpet i konstruksjonen.

Det er gjort både stasjonære og tidsavhengige (transiente) simuleringer med henholdsvis THERM og WUFI 2D. Med startbetingelsene som ble benyttet i de stasjonære simuleringene fremkommer at løsningen med overlappende isolasjon mellom varm og kald side har negativ innvirkning på temperaturforløpet i konstruksjonen. De transiente simuleringene viser tidvis samme temperaturforløp som under stasjonære forhold, men gir imidlertid et annet resultat for store deler av simuleringsperioden. Resultatet fra den transiente simuleringen avkrefter at overlappende isolasjon utelukkende har en negativ effekt på varmetapet for konstruksjonen.

Resultatene som fremkommer, viser at stasjonære simuleringer ikke er tilstrekkelige for en så kompleks konstruksjon som ble modellert i denne oppgaven. Spesielt i tilfeller der bygningsdelene består av tunge materialer med god varmelagringsevne. Temperaturene i kritisk punkt er imidlertid såpass lave at det ble foretatt en fuktteknisk analyse av dette området med WUFI 2D. Analysen ble gjort under transiente forhold med værdata fra Bardufoss målestasjon i aktuell måleperiode. Resultatet fra denne analysen indikerer at det er fare for kondensering i kritisk punkt, og dermed muggsoppfare ettersom gipsplaten gir tilgang på organisk materiale. For å heve temperaturen gjennom konstruksjonen og i kritisk punkt, er det utarbeidet et nytt forslag til hvordan denne kuldebroen kan løses med 5 cm XPS mellom hulldekkene. Løsningen vil ifølge simuleringene være med på å heve temperaturen i kritisk punkt fra ca. 3,5 °C til ca. 10 °C, og dermed begrense kondensfaren i dette området.

8.2 Forslag til videre arbeid

For videre undersøkelser av konstruksjonene ville det vært interessant og fått stukket noder under isolasjonen og inn på hulldekket, dette ville gitt ett godt bilde på temperaturforløpet. Resultatene fra disse målingene ville kunne vært med på å bekrefte evt. å avkrefte resultatene fra simuleringene. En annen metode man kunne utført målinger på for å sammenligne simuleringene med logging på er å gjennomføre to temperaturlogginger samtidig. Den ene temperaturloggingen var satt opp for ett område med overlappende isolasjon, og det andre området satt opp uten den overlappende isolasjonen. I tillegg til at det var satt opp temperatur- og RF logging i de overliggende leilighetene til hvert måleområde. Måleresultatene kunne man sammenligne seg imellom i tillegg til å sammenligne med simuleringsresultater.

Når det gjelder temperatur og RF loggingene ville det vært fordelaktig med en lengere måleperiode. Gjerne på flere bygg med lignende løsning, med en varighet på minimum ett år, optimalt sett flere år da været varierer såpass mye fra år til år. På denne måten ville man fått logget flere væromslag, som har vist seg å være perioden der det er fare for kondensering på overflatene i garasjelegget.

Det ville også styrket simuleringene dersom temperatur- og RF målinger fra leiligheten over garasjelegget hadde vært benyttet. Med måldata som foreligger i dag har det vært behov for å gjøre antagelser for RF og temperatur inne i leiligheten. Dette er verdier som kreves for å gjøre en fullstendig analyse av kondensrisikoen for konstruksjonen og temperaturforløpet for øvrig. Selv inne i en leilighet kan temperaturen og RF variere forholdsvis mye fra rom til rom.

Til sist ville det vært interessant å sett hvor stort økonomisk utslag varmetapet på dagens løsning er i forhold til løsningen vist i figur 7.16.

9 Referanseliste

AFTENPOSTEN, 2018a, *Snø og kulde fester grepet om Europa*, oppdatert: 01.mar.2018, <https://www.aftenposten.no/verden/i/5VoO9O/Se-bildene-Sno-og-kulde-fester-grepet-om-Europa> (01.04.19)

AFTENPOSTEN, 2018b, *Det er som om noen har åpnet døren til fryseren. Ekstremkulde i Europa og rekordvarme i Arktis forbløffer forskerne*, oppdatert 28.feb.2018, <https://www.aftenposten.no/verden/i/XwWVGJm/Det-er-som-om-noen-har-apnet-doren-til-fryseren-Ekstremkulde-i-Europa-og-rekordvarme-i-Arktis-forbloffer-forskerne> (01.04.2019)

BETONGELEMMENTBOKA, 2017, *E2 Varmelangring*, http://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BindE/Del_1/E2/2_1_Termisk_mas_se_som_energireservoator.pdf?fbclid=IwAR1tWzZ8iLjuNKmwRimYFIYY477CGuMrzOIFXWvxFUvdAmlJcjk76ErBf20 (14.04.2019)

BYGG, 2018, *Hvorfor så mange skader?* sist endret: 27.11.2013, <http://www.bygg.no/article/35738> (05.04.19)

BYGNINGSFYSIKK, 2018a, *Adsorpsjon*, publisert: 21.11.2018, <http://www.bygningsfysikk.no/Fuktmekanikk.php> (10.04.2019)

BYGNINGSFYSIKK, 2018b, *Simulering*, publisert: 21.11.2018, <http://www.bygningsfysikk.no/Simuleringer.php> (20.04.2019)

ÇENGEL, Y.A & GHAJAR, A.J, 2014, *Heat and Mass Transfer*, ISBN 978-981-4595-27-8 versjon nr.5, McGraw-Hill Education forlag 101212 New York

CONSTO, 2019a, *Om oss*, <https://consto.no/om-bedriften/> (12.05.2019)

CONSTO, 2019b, *Øvreveien terrasse, Bardufoss*, <https://consto.no/blog/prosjekt/ovreveien-terrasse-bardufoss/> (02.14.2019)

DIBK, 2013, § 12-10. *Bod og oppbevaringsplass*, sist endret: 11.11.2013, <https://dibk.no/byggeregler/tek/3/12/ii/12-10/> (08.04.2019)

DIBK, 2016, *Byggteknisk forskrift (TEK10)*, sist oppdatert: 15.07.2016, <https://dibk.no/byggeregler/tek/> (28.04.2019)

DN, 2017, *Undersøkelse: Dårligere og dårligere håndverk – byggeskader florerer*, Publisert: 23.05.2017, <https://www.dn.no/eiendom/undersokelse-darligere-og-darligere-handverk-byggeskader-florerer/2-1-89000> (02.04.2019)

DN, 2018, *Norske bedrifter skriker etter håndverkere*, publisert: 18.09.2018, <https://www.dn.no/arbeidsliv/nho/handverkere/okonomi/norske-bedrifter-skriker-etter-handverkere/2-1-422600> (02.04.2019)

FOLKEBLADET, 2012, *Kaldt, men ikke rekord*, publisert: 06.februar.2012, <https://www.folkebladet.no/var/article521824.ece> (01.02.2019)

FOLKEBLADET, 2018, *Bardufoss slo gammel varmerecord ned i støvlene*, sist oppdatert: 18.juli.2018, <https://www.folkebladet.no/nyheter/2018/07/18/Bardufoss-slo-gammel-varmerecord-ned-i-st%C3%B8vlene-17148555.ece> (01.02.2019)

FN, 2018 *Klimaendringer*, Sist oppdatert: 05.10.2018, <https://www.fn.no/Tema/Klima-og-miljoe/Klimaendringer> (10.05.2019)

- HALL C.F, 1865**, *Inuit village near Frobisher Bay*,
https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Francis_Hall#/media/File:Igloos.jpg (01.04.2019)
- HUUSE. K, 2014**, *Masai-kvinne foran selvbygget hus*, publisert: 09.11.2004,
<http://3.bp.blogspot.com/-n5zYAR0raos/VF--hKBA6qI/AAAAAAAAAPo/YfSaZb2dvJg/s1600/DSCF2445.JPG> (01.04.2019)
- LOVDATA, 2005**, *Forskrift om begrensning av forurensning*, sist endret: 15.12. 2005,
https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4-5#%C2%A715-6
(05.04.19)
- NORENTREPENOR, 2010**, *Vanninntrengning-garasje*, publisert: 2010,
<https://norentreprenor.no/wp-content/uploads/2010/12/Vanninntrengning-garasje.jpg>
(02.05.2019)
- NORGESKART, 2019**, *Oversiktsbilde over Bardufoss*,
<https://www.norgeskart.no/#!?project=seeiendom&layers=1002,1015&zoom=9&lat=7660669.32&lon=637037.14> (29.03.2019)
- NOVAKOVICH, V., HANSEN, S.O., THUE, J.V., WANGENSTEEN, I., GJERSTAD, F.O., 2016**, *Enøk i bygninger effektiv energibruk (3.utg., 3 opplag)*, ISBN 978-82-05-37496-6, Gyldendal forlag 0130 Oslo
- SINTEF, 1997a**, *Krav til lys og belysning*, publisert: 1997,
https://www.byggforsk.no/dokument/201/krav_til_lys_og_belysning (10.04.2019)
- SINTEF, 1997b**, *Skader på betongdekker i garasjeanlegg*, publisert: vår 1997,
https://www.byggforsk.no/dokument/668/skader_paa_betongdekker_i_garasjeanlegg
(08.04.2019)
- SINTEF, 2003a**, *Varmekonduktiviteten og varmemotstand for bygningsmaterialer*, publisert: vår 2003,
https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktiviteten_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer (02.02.2019)
- SINTEF, 2003b**, *Varmekonduktiviteten og varmemotstand for bygningsmaterialer*, publisert: vår 2003,
https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktiviteten_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer (16.04.2019)
- SINTEF, 2005**, *Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for inneklimate*, publisert: vår 2005,
https://www.byggforsk.no/dokument/3231/muggsopp_i_bygninger_forekomst_og_konsekvenser_for_inneklimate (08.04.2019)
- SINTEF, 2006**, *Fukt i kjellere. Årsaker og utbedringer*, Publisert: vår 2006,
https://www.byggforsk.no/dokument/698/fukt_i_kjellere_aarsaker_og_utbedring
(10.04.2019)
- SINTEF, 2007**, *Alkalireaksjoner i betong. Skademekanisme og regelverk ved nybygging*, publisert: høst 2007,
https://www.byggforsk.no/dokument/299/alkalireaksjoner_i_betong_skademekanisme_og_regelverk_ved_nybygging#i22 (09.04.2019)
- SINTEF, 2008**, *Kuldebroer. Konsekvenser og dokumentasjon av energibruk*, publisert: oktober 2008,

https://www.byggforsk.no/dokument/213/kuldebroer_konsekvenser_og_dokumentasjon_av_energibruk (12.04.2019)

SINTEF, 2009, *Armeringskorrosjon*, publisert: november. 2009,
<https://www.byggforsk.no/dokument/298/armeringskorrosjon> (08.04.2019)

SINTEF, 2009b, *Tilfarergulv i nye og eksisterende bygg*, publisert: august 2009,
https://www.byggforsk.no/dokument/337/tilfarergolv_i_nye_og_eksisterende_bygg
(11.04.2019)

SINTEF, 2010, *Trinnfritt inngangsparti for småhus av tre. Tekniske løsninger*, publisert:
juni.2010,
https://www.byggforsk.no/dokument/372/trinnfritt_inngangsparti_for_smaahus_av_tre_tekniske_loesninger (26.04.2019)

SINTEF, 2010a, *Høyisolerte konstruksjoner og fukt*, publisert: 2010,
<https://www.sintefbok.no/book/download/125> (01.05.2019)

SINTEF, 2010b, *Trinnfritt inngangsparti for småhus av tre. Tekniske løsninger*, publisert:
Juni 2010,
https://www.byggforsk.no/dokument/372/trinnfritt_inngangsparti_for_smaahus_av_tre_tekniske_loesninger (02.05.2019)

SINTEF, 2018a, *Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*, publisert: juni 2018,
https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag (10.04.2019)

SINTEF, 2018b, *Unngå dammer og skader i underjordiske garasjeanlegg*, publisert:
05.12.2018, <https://www.sintef.no/byggforsk/fagblogg/poster/unnga-dammer-og-skader-i-underjordiske-garasjeanlegg/> (08.04.2019)

SINTEF, 2018c, *Undersøkelse av fuktskader i bygninger*, publisert: april 2018,
https://www.byggforsk.no/dokument/631/undersokelse_av_fuktskader_i_bygninger#i23
(08.04.2019)

SINTEF, 2018d, *Beregninger av U-verdi etter NS-EN ISO 6946*, publisert: september 2018,
https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946
(10.04.2019)

SNL, 2018, *Store Norske Leksikon – Infrarød stråling*, sist oppdatert: 17.aug.2018,
https://snl.no/infrar%C3%B8d_str%C3%A5ling (19.04.2019)

SRISGANTHARAJAH, J & ULLAH, S, 2015, *En studie av fuktinnhold i massivtre – oppfuktings- og uttørkingsprosessen*, masteroppgave, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet 1432 Ås

STANDARD, 2017, *Bygningskomponenter og -elementer - Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient – Beregningsmetoder (NS-EN ISO 6946:2017)*,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=941536> (17.04.2019)

STATSBYGG, 2019, *Nytt operahus, Den Norske Opera & ballet*,
https://www.statsbygg.no/files/publikasjoner/ferdigmeldinger/673_opera.pdf (16.04.2019)

STORVIK, K. O 2017, *Lofotr Vikingmuseum*, <https://www.lofoten.com/nb/museum/lofotr-vikingmuseum#gallery1492f1aba7-3> (15.04.2019)

SUNDSBØ, P. A, 2018, *Lecture notes Fluid Mechanics*, UiT Narvik

- SVEEN, S.E, 2018**, *SMN6198 Bygningsfysikk – forelesningsnotater*, UiT Narvik
- TERMOGRAFI, 2019**, <http://www.termografi.no/hovedmeny/tjenester/isoleringsfukt.aspx> (02.04.2019)
- TERMOGRAMTEKNIKK, 2019**, *Fukt i isolering*, <http://termografiteknikk.no/hva-er-termografering.html> (02.04.2019)
- THERM, 2019**, *Therm*, <https://windows.lbl.gov/software/therm/>, (12.05.2019)
- THUE J.V, 2016**, *Bygningsfysikk Grunnlag*, ISBN 978-82-450-1994-0, Gyldendal forlag 0130 Oslo
- THUE, J.V, 2016**, *Bygningsfysikk Grunnlag*, ISBN 978-82-450-1994-0, Fagforlaget 5068 Bergen
- TU, 2017**, *Byggeskader koster samfunnet 17 milliarder i året: – Det blir stadig flere feil*, publisert: 23.mai.2017, <https://www.tu.no/artikler/byggeskader-koster-samfunnet-17-milliarder-i-aret-eksperter-mener-nye-byggeregler-bor-lose-problemet/383217> (10.01.2019)
- VINJE, L & ALEXANDER, S, 2010**, *Betongelementboken Bind A – Bygging med betongelementer*, ISBN 978-82-993192-3-2 Betongelementforeningen 0307 Oslo
- WUFI, 2019b**, *Mold Growth Prediction by Computational Simulation*, <http://www.wufi.no/workshop-08/WUFI-BIO-Englisch.pdf> (11.05.2019)
- WUFI, 2019b**, *Wufi*, <https://wufi.de/en/>, (12.05.2019)
- YR, 2019a**, *Været som var, Bardufoss målestasjon*, https://www.yr.no/sted/Norge/Troms/M%C3%A5selv/Bardufoss_m%C3%A5lestasjon/detaljert_statistikk.html (10.04.2019)
- YR, 2019b**, *Bardufoss målestasjon, Måselv (Troms), Klimastatistikk for Nord-Norge*, https://www.yr.no/sted/Norge/Troms/M%C3%A5selv/Bardufoss_m%C3%A5lestasjon/klima.h%C3%B8st.html (01.12.2019)
- YR, 2019c**, *Bardufoss målestasjon, Været som var, Datoøk*, https://www.yr.no/sted/Norge/Troms/M%C3%A5selv/Bardufoss_m%C3%A5lestasjon/almanakk.html?dato=2019-03-24 (11.04.2019)
- YR, 2019d**, *Bardufoss målestasjon, Været som var, datoøk*, https://www.yr.no/sted/Norge/Troms/M%C3%A5selv/Bardufoss_m%C3%A5lestasjon/almanakk.html?dato=2019-03-11 (13.04.2019)
- YR, 2019e**, *Bardufoss målestasjon, Været som var, Værstatistikk*, https://www.yr.no/sted/Norge/Troms/M%C3%A5selv/Bardufoss_m%C3%A5lestasjon/almanakk.html?dato=2019-02-21 (16.04.2019)
- YR, 2019f**, *Bardufoss målestasjon, Været som var, Værstatistikk*, https://www.yr.no/sted/Norge/Troms/M%C3%A5selv/Bardufoss_m%C3%A5lestasjon/almanakk.html?dato=2019-03-07 (19.04.2019)

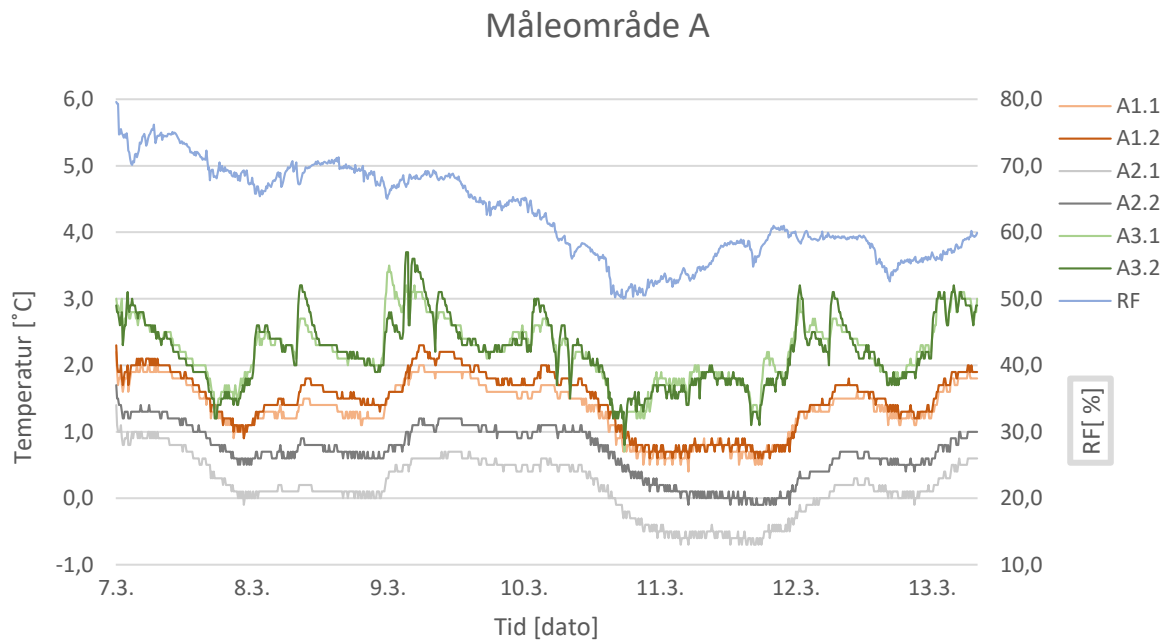
10 Vedlegg

Vedleggsliste

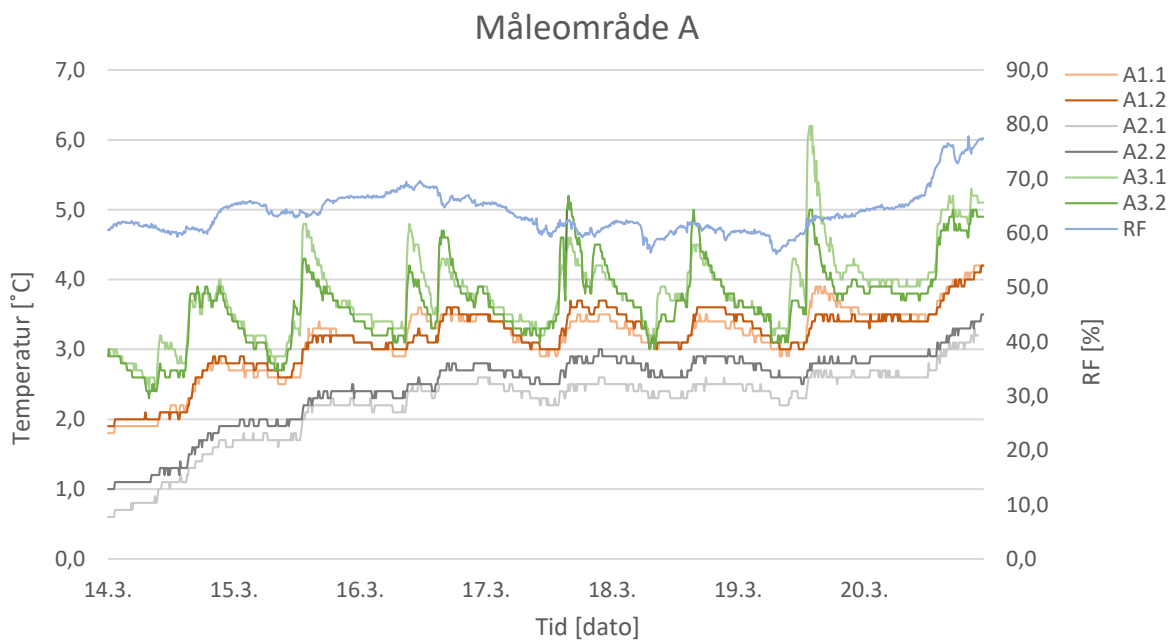
10.1	Måleområde A.....	86
10.2	Måleområde B.....	88
10.3	Oversikt over mesh, THERM.....	90
10.4	Beregnet U-verdi for vegg	91
10.5	Oversikt over grid, WUFI 2D.....	92
10.6	Rød ramme viser området hvor data for Isopleths ble hentet ut	93
10.7	Universell utforming, rist foran dør.....	94
10.8	Mollierdiagram, 11.03.2019 kl.03:59.....	95
10.9	Mollierdiagram, 11.03.2019 kl.18:39.....	96
10.10	Randisolasjon i garasjeanlegg er fjernet og 10cm XPS mellom hulldeker.....	97
10.11	Forklaring på isopleths	98
10.12	Ingen overlappende isolasjon og 5cm XPS mellom hulldekker. Infrarød visning....	99
10.13	Oppgavetekst.....	100

10.1 Måleområde A

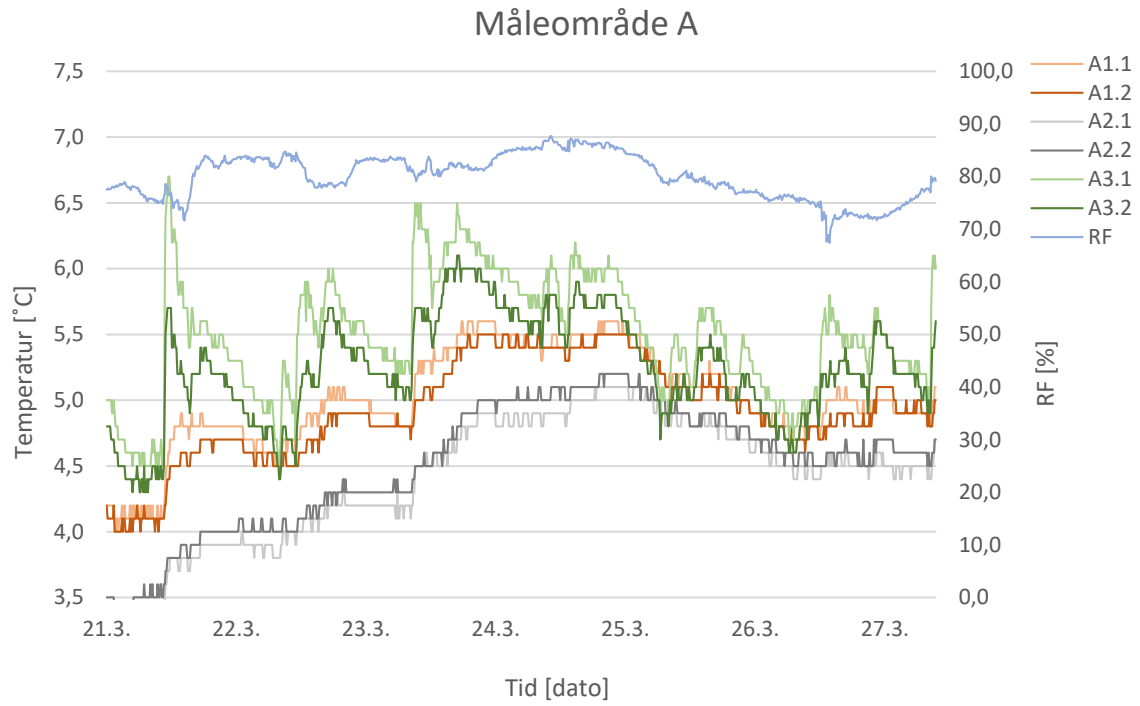
I dette vedlegget er måleperioden for måleområde A delt opp på tre forskjellige grafer slik at verdiene er lettere å lese ut av grafen.



Figur 10.2. Målinger registrert for måleområde A i perioden 07.03.2019 - 13.03.2019



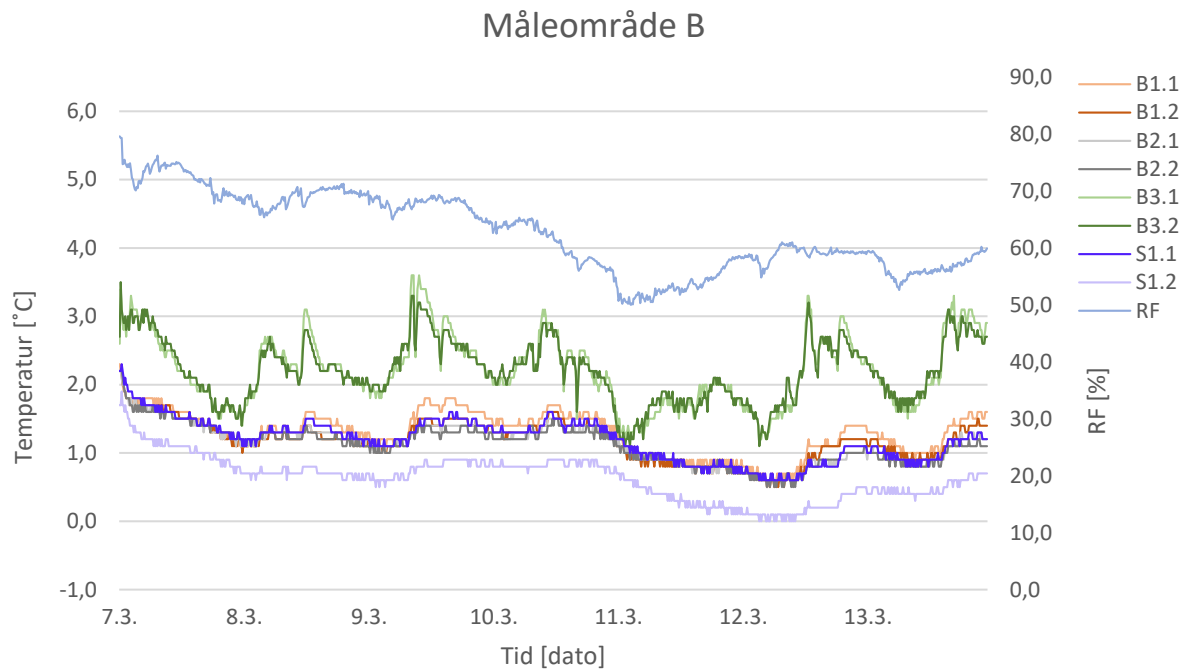
Figur 10.1. Målinger registrert for måleområde A i perioden 14.03.2019 - 20.03.2019



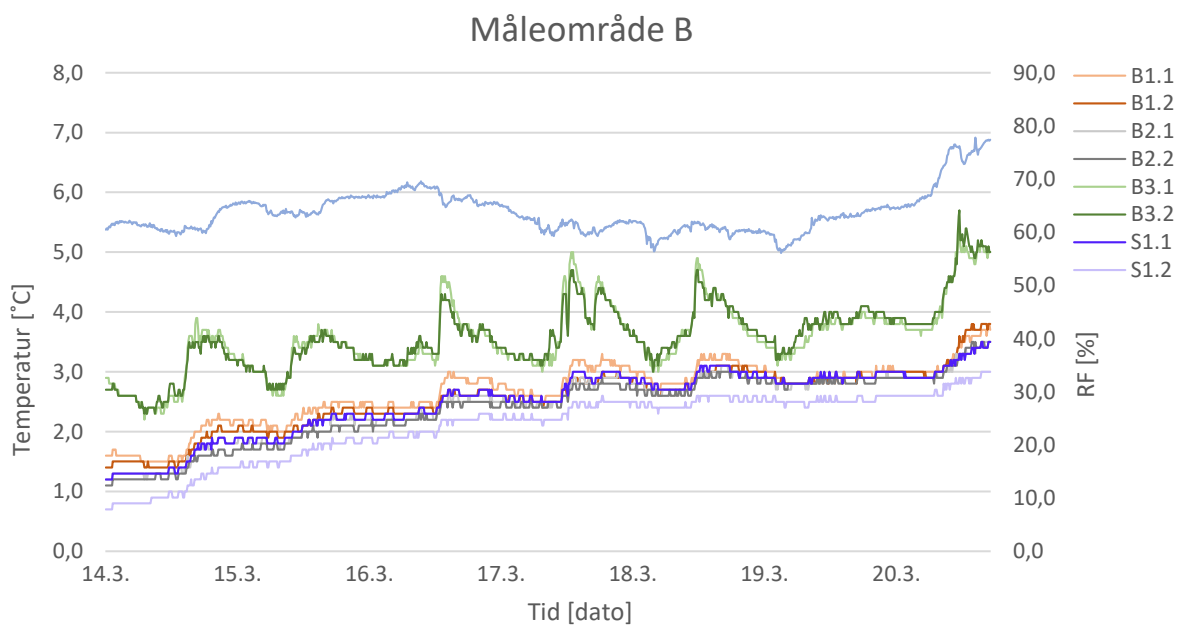
Figur 10.3. Målinger registrert for måleområde A i perioden 21.03.2019 - 27.03.2019

10.2 Måleområde B

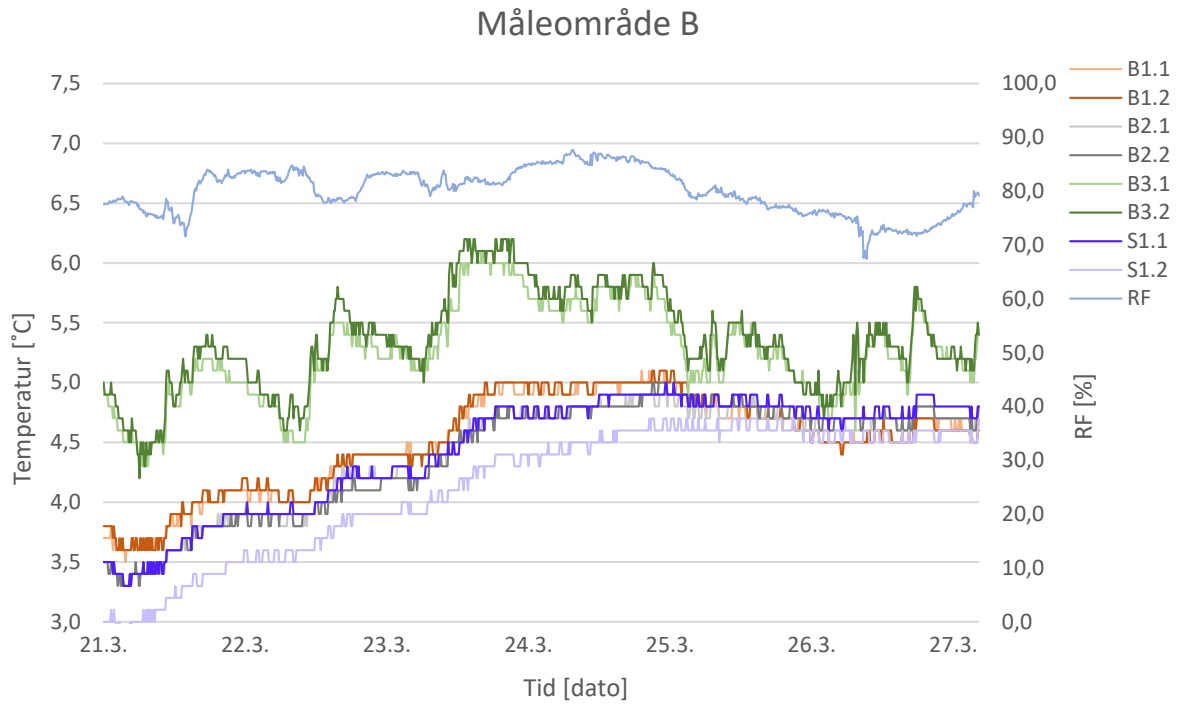
I dette vedlegget er måleperioden for måleområde B delt opp på tre grafer slik at verdiene er lettere å lese ut av grafen



Figur 10.4. Målinger registrert for måleområde B i perioden 07.03.2019 - 13.03.2019

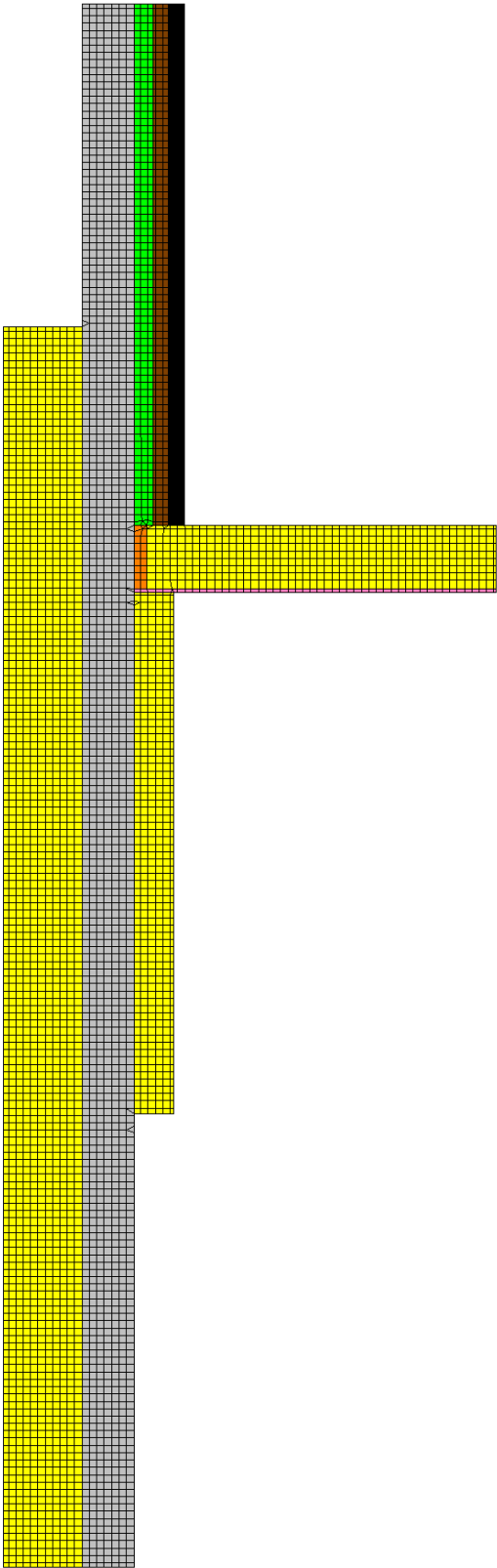


Figur 10.4. Målinger registrert for måleområde B i perioden 14.03.2019 - 20.03.2019



Figur 10.6. Målinger registrert for måleområde B i perioden 21.03.2019 - 27.03.2019

10.3 Oversikt over mesh, THERM

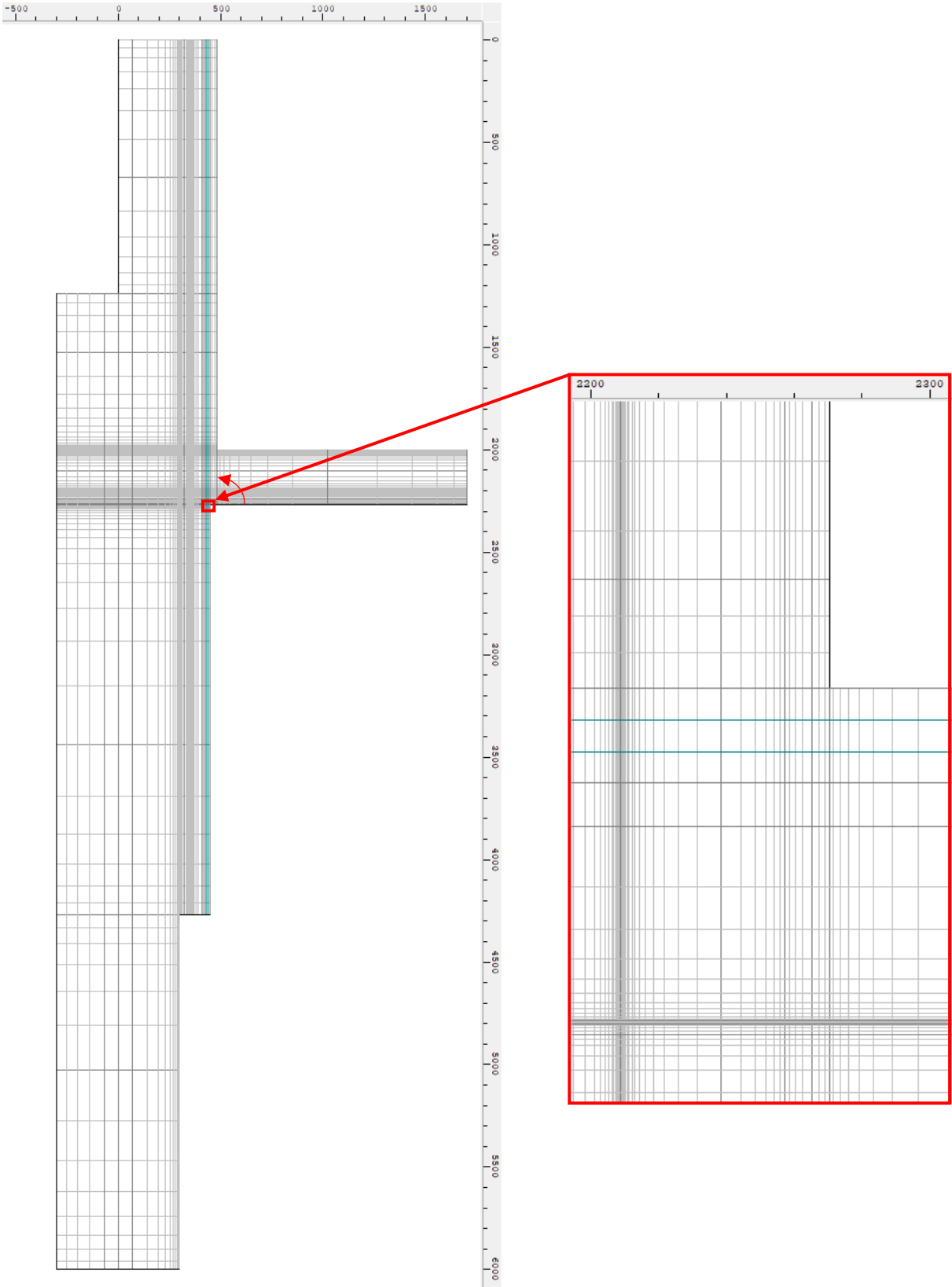


10.4 Beregnet U-verdi for vegg

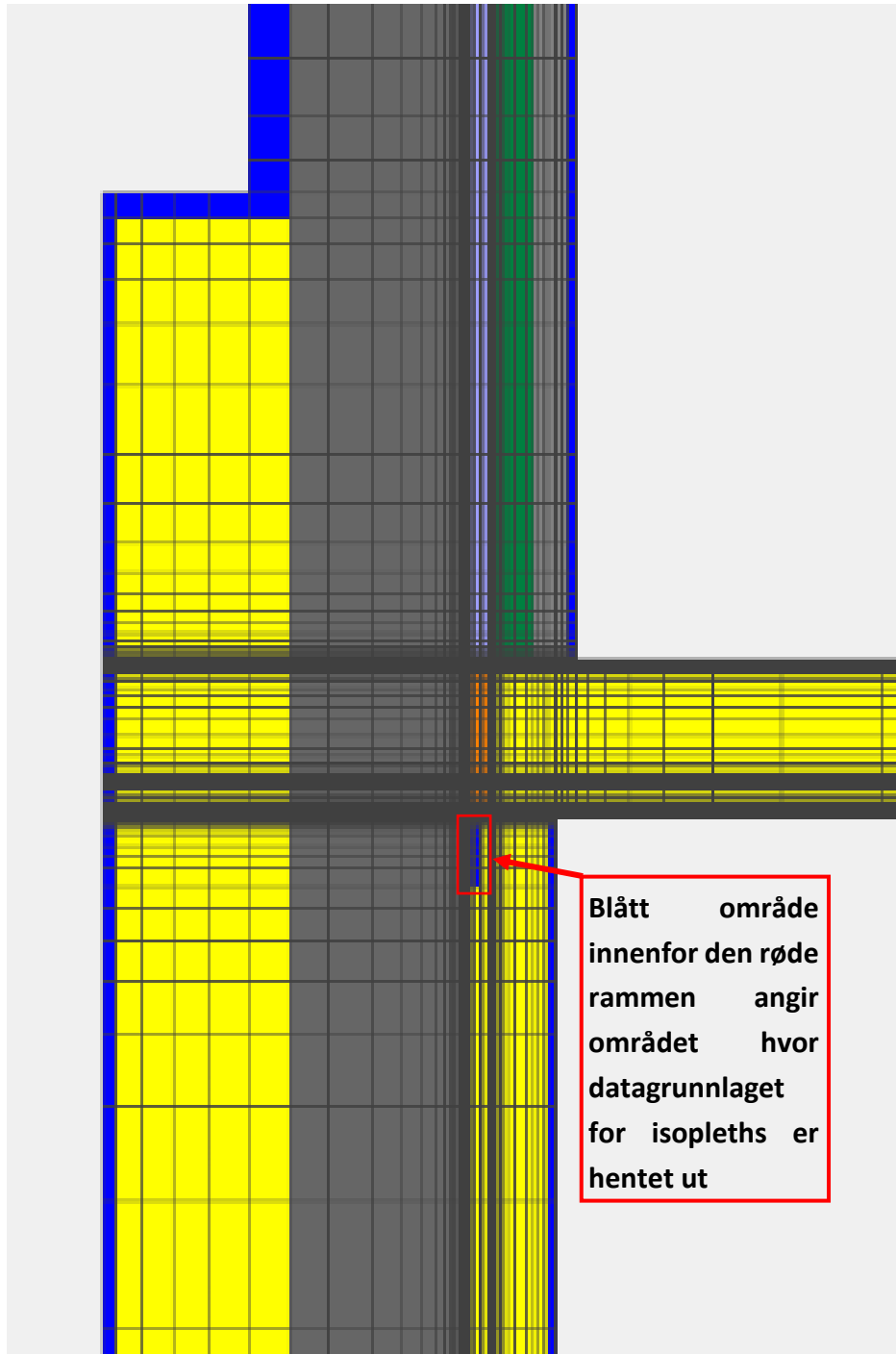
Sjikt	d (m)	λ (W/mK)	m ² K/W
			Vegg Horizontal
1. Innvendig overgangsmotstand	-	-	0,130
2. 13mm gipsplate	0,013	0,200	0,065
3. 250mm Isolasjon	0,246	0,035	7,029
4. Utvendig overgangsmotstand	-	-	0,130
Sum			7,354

Resultat U - Verdi	
0,136	W/m ² K

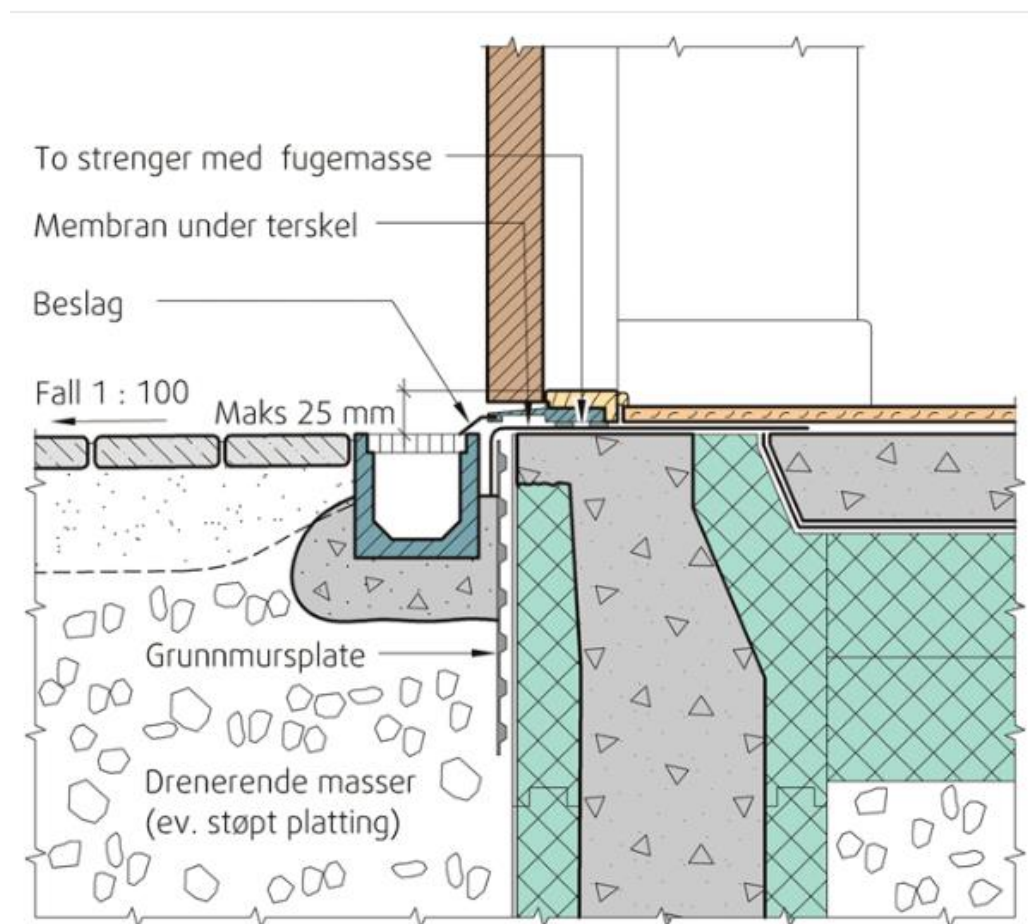
10.5 Oversikt over grid, WUFI 2D



10.6 Rød ramme viser området hvor data for isopleths er hentet ut

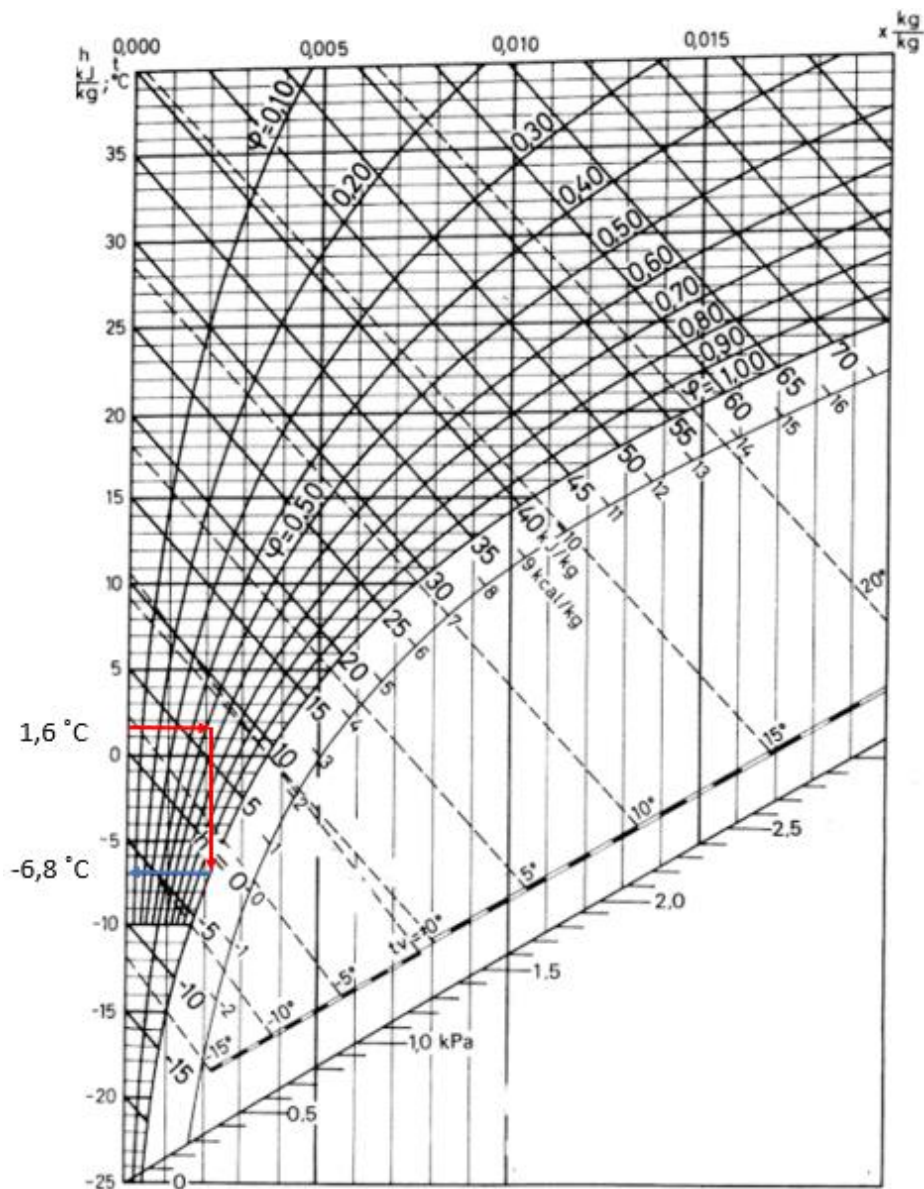


10.7 Universell utforming, rist foran dør



Figur 11.7. Eksempel på detaljløsning av inngangsparti med terreng inntil bygningen (Sintef, 2010b)

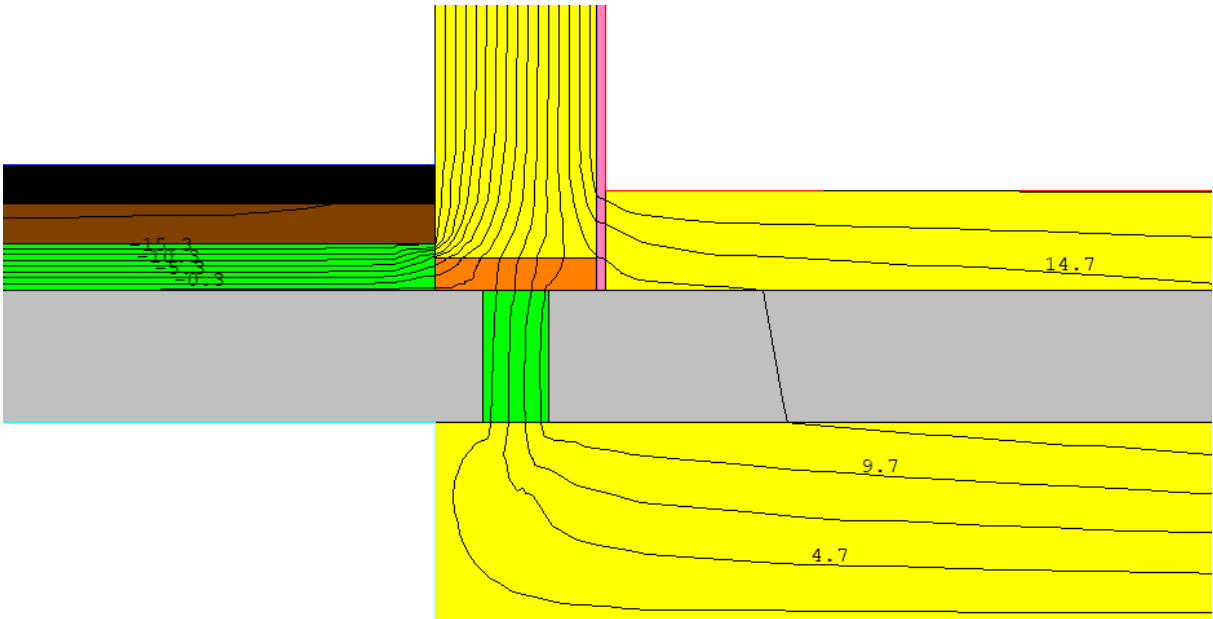
10.9 Mollierdiagram, 11.03.2019 kl.18:39



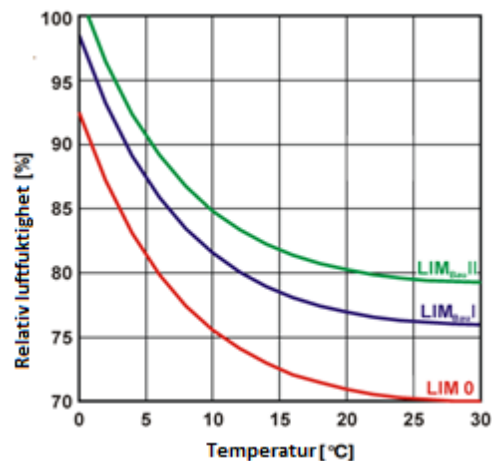
Figur 11.9. 11.03.2019 kl.18:39.

- Mollierdiagram viser laveste temperatur som ble målt inne i gassejanlegget på 1,6 °C ilt. måleperioden fra 07.03.2019 til 27.03.2019. Den relative fuktigheten inne i gassejanlegget var da på 52,8%, dette er vist med vannrett rød pil.
- Loddrett rød pil indikerer når relativ luftfuktighet er 100%.
- Blå vannrett pil viser temperaturen for luft med relativ luftfuktighet på 100%. Avlest temperatur er på -6,8 °C.
- Den kaldeste overflatetemperaturen på betongen som ble målt var noden A2.1 på -0,5°C.

10.10 Randisolasjon i garasjeanlegg er fjernet og 10cm XPS mellom hulldeker



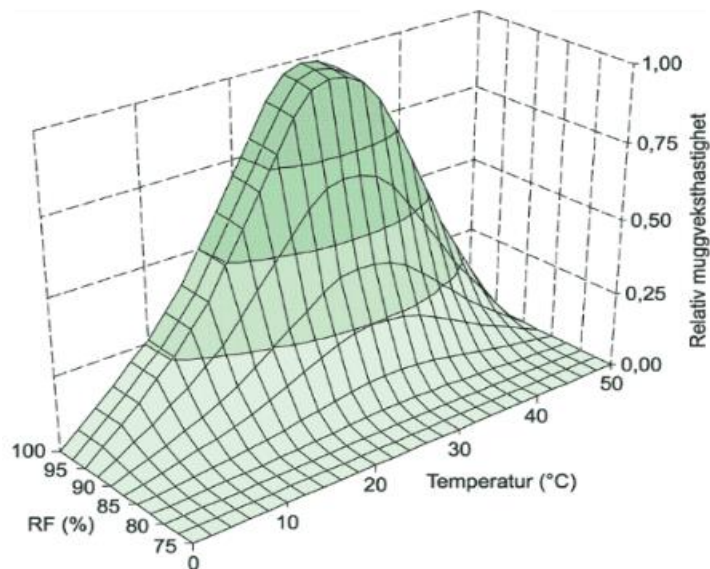
10.11 Forklaring på isopleths



Figur 11.10. Grenser for vekst av muggsopp på ulike bygningsmaterialer (Wufi, 2019b)

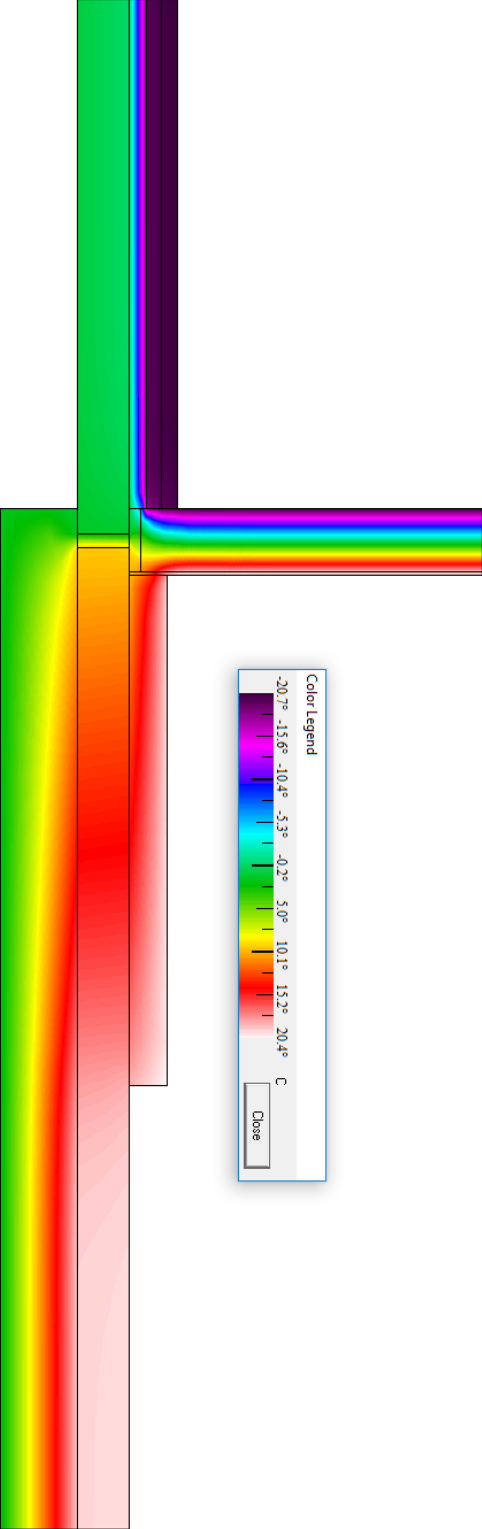
- LIM 0: Medium med optimale vekstvilkår.
- LIM I: Produkter som er laget av lett nedbrytbare materialer. F. eks Veggtapet og gipsplate.
- LIM II: Materialer med porøs struktur f.eks. gips, mineralbaserte bygningsmaterialer, noen tretyper, og isolasjonsmaterialer som ikke tilhører gruppe I. Om isolasjonsmaterialer er forurensede, tilhører disse gruppe I.

Figur 11.11 viser sammenhengen mellom temperatur og relativ fuktighet for optimale vekstvilkår for muggsopp.



Figur 11.11. Relativ muggveksthastighet for de mest vanlige muggsoppene som funksjon av temperatur og relativ luftfuktighet (SINTEF,2005)

**10.12 Ingen overlappende isolasjon og 5cm XPS mellom hulldekker.
Infrarød visning**



10.13 Oppgavetekst



MASTEROPPGAVE

for

Emil Pettersen (530051) og Bjørn Anders Pettersen (490005)

Vår 2019

Bygningsfysiske problemer i forbindelse med kalde garasjeanlegg

Bakgrunn

Krav til antall parkeringsplasser for boligblokker er ofte gitt i kommunens reguleringsplan, og løses oftest med et garasjeanlegg i én eller flere av byggets etasjer. Garasjeanleggene er som regel uoppvarmet, noe som er med på å skape bygningsfysiske utfordringer. De vanligste utfordringene som oppstår er relatert til fukt, ofte i kombinasjon med kuldebroer, samt inneklimate.

Consto har bygd en rekke boligblokker med tilhørende kalde garasjeanlegg, hvor det på noen av prosjektene har oppstått bygningsfysiske utfordringer i tilknytning til garasjeanlegget. Utfordringene går i hovedsak ut på kuldebroproblematikk og dermed fuktproblemer i form av kondensering samt innemiljø. Problemområdene er ofte overgang terreng/vegg og gjennomføringer fra kald til varm side. Kontraktene til Consto er som oftest totalentrepriser, som betyr at de er ansvarlig for løsningene som blir valgt. Consto er derfor interessert i å avdekke spesifikke problemer tilknyttet til kuldebroproblematikk, fukt og innemiljø i kalde garasjeanlegg over året, samt utvikle robuste løsninger for sine garasjeanlegg.

Oppgaven går ut på å kartlegge de forskjellige årsakene, og vurdere de ulike prinsippene for de bygningsfysiske problemene som oppstår i slike kalde garasjelegger. I kartleggingen skal tegninger og prinsippskisser fra prosjektene D17 (boligblokk i Narvik), Øvreveien terrasse (boligblokk på Bardufoss) og Holstneset (boligblokk i Harstad) granskes, det er muligheter for fysiske målinger på de to sistnevnte boligblokkene. Som et minimum er det ønskelig at temperaturen logges. Det planlegges å bruke tallene fra målingene til varme- og fukttekniske simuleringer.

Når det gjelder valg av simuleringsprogram må vi forhøre oss nærmere om hvilke programmer som er hensiktsmessig å bruke i forhold til vår oppgave og de aktuelle problemene, siden de komplette modellene er svært ressurskrevende å bruke. Det kan i mange tilfeller være hensiktsmessig å benytte forenklete modeller dersom dette anses å være tilstrekkelig i forhold til påliteligheten til resultatene. Når det er sagt er planen å bruke THERM og WUFI 1D eller WUFI 2D. Men vi er ikke villig til å betale 1950-3000 Euro for programvaren. Så vi er avhengig av støtte eller hjelp fra noen som allerede har programvaren hvis det skal la seg gjøre. Men simuleringer av forskjellige caser kan hjelpe oss med å forstå problemet og finne måter å utbedre det på hvis det blir aktuelt. Eksempelvis valg av forskjellige isolasjonsplasseringer og/eller isolasjonstykkelse, materialvalg osv.

Begrensning av oppgaven

Garasjeleggene i oppgaven skal begrense seg til garasjelegger som er nedfylt eller delvis nedfylt i masser. Det skal ikke utføres prosjektering av byggetekniske løsninger eller systemløsninger.

Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):

1. Litteraturstudie med avgrensninger og definisjoner.
2. Kartlegging av krav i TEK 17
3. Kartlegging av hvordan garasjeleggene med de bygningsfysiske utfordringer er bygd.
4. Måling av temperatur og relativ luftfuktighet i utvalgte garasjelegger.
5. Varme- og fukttekniske simuleringer.
6. Med bakgrunn i målinger, simuleringer og analyser vurderes grunnen til de observerte utfordringene vedrørende bygningsfysikk.
7. Det skal utarbeides en artikkel/paper basert på oppgaven, maks 10 sider.

Samarbeidspartner

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Consto AS

Generelt

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før

kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensinger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato:	07.01.2019
Innleveringsdato:	16.05.2019
Kontaktperson bedrift:	Geir Soleng Telefon: 46 82 16 45 E-post: geir.soleng@consto.no
Veileder UiT - IVT:	Svein-Erik Sveen Telefon: 41 42 56 54 E-post: svein-erik.sveen@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet

Institutt for bygg, energi og materialteknologi

Svein-Erik Sveen

Faglig ansvarlig/veilede