



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2020 30 stp  
Realfag og teknologi

## **Feltmålt varmefluks gjennom utvendig isolert krysslåst tre, sammenlignet med håndberegnete verdier etter Norsk Standard**

Field-measured Heat Flux through Externally  
Isolated Cross Laminated Timber compared with  
Hand-measured Values according to Norwegian  
Standard

Hans Jørgen Grue  
Byggeteknikk og arkitektur

# 1 Forord

Denne masteroppgaven er avslutningen på et 5 år langt studieløp ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet. Det har vært en lærerik, morsom og til tider frustrerende arbeidsprosess som jeg ikke ville vært foruten.

Oppstarten ble til dels amputert da undertegnede og veileder Tormod Aurlien i slutten av januar kom frem til at valgt oppgave ble for vanskelig å gjennomføre. Tormod Aurlien la frem en alternativ oppgave i starten av februar, og det var denne oppgaven jeg valgte å gå for.

I utgangspunktet var det interessen for luftskifte i naturlig ventilerte boliger som motiverte meg til å skrive masteroppgave. Da dette ikke lot seg gjøre, falt valget på en oppgave som omhandlet blant annet varmekonduktivitet, U-verdi og krysslåst tre. Krysslåst tre er et materiale som blir stadig mer populært, og det er et materiale som jeg forventer vil bli relevant for meg når jeg kommer ut i arbeidslivet.

Hvorvidt krav til U-verdi kan reduseres som følge av varmetekniske egenskaper til krysslåst tre er et spennende tema, og denne oppgaven kan bidra til å skape mer kunnskap omkring dette. Jeg ønsker å takke veileder Tormod Aurlien for god hjelp underveis, og motiverende samtaler. Jeg vil også takke Thomas Kringebotn Thiis for hjelp til oppstart av måleverktøyet TRSYS01. Både Thomas og Tormod var hjelpsomme med å følge opp målingene mine på Søråsfeltet, da coronaviruset forhindret meg i å etterse målingene selv. Til slutt vil jeg takke Leif Daniel Houck for råd og konsultasjon gjennom uken før oppgaven ble levert. Uten denne oppfølgingen ville ikke denne masteroppgaven vært mulig å gjennomføre.

Som følge av coronasituasjonen oppstod det problematikk knyttet til blant annet innsamling av kilder. Da biblioteker forble stengt over et lengre tidsrom uteble mulige kilder i form av bøker. Dette har ført til at kilder i større grad har blitt hentet fra nett, i tillegg til at tidligere masteroppgaver har blitt benyttet. Dette er uheldig, men en direkte konsekvens av coronasituasjonen vi alle befinner oss i. Likevel ble oppgaven gjennomført innenfor fristen, og dette er resultatet.



## 2 Sammendrag

I dag stilles det svært strenge krav til tetthet i bygningskroppen. Dette skyldes at det i størst mulig grad er ønsket å ha kontroll på energien i bygget. Ved å stille rigide krav til varmegjennomgangen blir det lettere å oppnå en slik kontroll. Ved strenge krav til målt U-verdi, stilles det også høye krav til målemetodikken. En rekke ulike U-verdier er beregnet iht. NS-EN ISO6946 hvor enkelte rammer og betingelser for målingen er satt. Det er derfor interessant å se på eventuelle forskjeller mellom målt U-verdi på konstruksjon i felt, og beregnet U-verdi iht. standard i laboratorium.

Ved beregning av U-verdi benyttes den dimensjonerende varmekonduktiviteten  $\lambda$ . Varmekonduktivitet er et samlebegrep for varmetransport, og beregnes ved målinger i prøveapparatet hvor eventuelle korreksjoner gjøres i henhold til produktstandard (SINTEF Byggforsk, 2003b). I denne oppgaven har fokuset vært å se på om feltmålt U-verdi hentet ved hjelp av varmefluksmålere avviker fra beregnet U-verdi, og i hvilken grad disse verdiene eventuelt avviker. Testmaterialet er krysslåst tre, isolert utvendig med en Glava-glassullplate. Utenpå isolasjonen ligger en værbestandig vindspærreduk.

Målingene er utført på Modul A på Søråsfeltet. Modulen er en del av en meteorologisk stasjon, og er dermed utsatt for vær og vind. Måleapparatet som er benyttet i oppgaven er levert av Hukseflux Thermal Sensors og heter TRSYS01. Apparatet måler differansen mellom ute- og innetemperatur, og benytter en fluksmåler kalt HFP01 for å beregne varmefluksen gjennom konstruksjonen. Målingene ble utført på både nord- og sørfasaden.

For at målingene skulle være troverdige ble det bestemt at et rammeverk skulle ligge til grunne for målingene, og metode beskrevet i BS-EN ISO9869-1:2014 ble valgt. Dette skapte problemer fordi metoden i utgangspunktet krever at målingene utføres om natten, avhengig av mengde sollys og materialets spesifikke varmekapasitet. Dette var et av flere krav som ble neglisjert da påvirkning fra sola var ønsket som en del av oppgaven for å se i hvor stor grad solstråling bidrar til termisk treghet, og i så måte mulighet for reduksjon i krav til U-verdi.

Resultatene viser at sollyset i kombinasjon med redusert isolasjon på sydfasaden gjorde at veggen som følge av termisk treghet overførte varme fra veggen og inn i modulen. Dette skjedde på et tidspunkt hvor differansetemperaturen var stigende. Dette var utslagsgivende ved sammenligning av U-verdier, da målt U-verdi mot slutten av måleperioden for sørsiden var lavere enn beregnet U-verdi i henhold til beskrivelser i NS-EN ISO6946. Likevel er det

stor usikkerhet knyttet til påliteligheten til målte U-verdier, da variasjoner i varmemotstand ved sørfasaden var for store i henhold til BS-ISO9869-1:2014. Termisk treghet gjorde seg gjeldende også for nordfasaden, men varmen i veggen gikk aldri inn i modulen.



### 3 Abstract

Today there are strict demands regarding the density of the building body as one wish to control of the energy inside the building. By imposing requirements on the heat transfer, it is easier to achieve such control. However, strict requirements to the body of the building, also warrants requirements to the measurement methodology. Several different U- values are measured according to NS-EN ISO6946 (Norwegian Standard) where the conditions for the measurement are set. Therefore, it is interesting to see if there are any differences between measured U- value according to NS-EN ISO6946, and U-value measured on field constructions.

The design heat conductivity is used when calculating the U-value according to NS-EN ISO6946. This value is a collective term for heat transport, and is calculated by using test-equipment, where potential corrections are made in accordance with product standards (SINTEF Byggforsk, 2003b). In this thesis, the focus has been to check whether field-measured U-value differs from the calculated U-value, and if so, to what extent. The test materials are cross-laminated wood, which is isolated externally with a glass wool plate delivered by Glava. A weatherproof wind barrier protects the isolation.

The measurements where performed on Søråsfeltet in Ås. The building is called module A, and it is part of a meteorological station placed on a field near Ås centrum. The module is therefor exposed to weather. The equipment used the measure the heat flux is delivered by Hukseflux Thermal Sensors and it is called TRSYS01. This device, with help from heat flux sensors called HFP01 and one thermocouple per sensor are used to calculate the heat flux trough the structure. The measurements where performed on both the north and the south side of the module.

In order to facilitate credible measurement, it was decided that a framework should be used as the basis for the measurements, and the method described in BS-EN ISO9869-1:2014 was chosen. This created problems as the methodology does not account for the effects of sunlight, and the measurement should hence be done at night. This was one of several, deliberately neglected requirements, as sunlight exposure was wanted as a part of the task. This had to be done in order to see how much solar radiation contributes to thermal inertia, and thus the possibility of reduction in U-value requirements. The results show that in combination with reduced insulation on the south wall, the sunlight caused the wall to transfer

heat from the wall into the module at a time when the differential temperature was rising. This was decisive when comparing U- values, as measured U- values towards the end of the measurement period for the south side was lower than calculated U- value according to the descriptions in NS-EN ISO6946. Nevertheless, the variations in heat resistance at the southern façade differed from the demands set in BS-ISO9869-1:2014. Therefore, the uncertainty regarding the reliability of measured U-values are considerable. Thermal inertia also applied to the north façade, but the heat never entered the module.





## 4 Innholdsfortegnelse

1	Forord .....	i
2	Sammendrag .....	iii
3	Abstract .....	vi
4	Innholdsfortegnelse .....	ix
4.1	Figurliste .....	xi
4.2	Tabelliste .....	xiii
5	Innledning .....	1
5.1	Bakgrunn .....	1
5.2	Problemstilling .....	2
5.3	Avgrensning .....	2
5.4	Disposisjon .....	3
6	Teori .....	5
6.1	Varme .....	5
6.1.1	Grunnleggende forståelse .....	5
6.1.2	Varmetransport .....	5
6.1.3	Varmemotstand .....	8
6.1.4	Varmegjennomgang og varmestrøm .....	10
6.1.5	Varmekapasitet og termisk treghet .....	11
6.2	Tre .....	12
6.2.1	Generelt .....	12
6.2.2	Varme og fukt .....	14
6.2.3	Krysslimt tre .....	15
6.3	Isolasjon .....	16
6.3.1	Generelt .....	16
6.3.2	Varme og fukt .....	16
6.4	Vindsperre .....	17
6.4.1	Generelt .....	17
6.4.2	Varme og fukt .....	18
6.5	Solstråling .....	18
7	Metode .....	21
7.1	Valgt metode og tilhørende krav .....	21
7.2	Beskrivelse av måleinstrument .....	22
7.3	Krav til måleutstyret og installasjonen .....	24

7.4	Avvik fra krav og mulige feilkilder.....	25
7.5	Beskrivelse av måleoppsett .....	26
7.5	Endring i måleoppsettet.....	30
7.6	Håndtering av data.....	31
7.7	Værdata .....	33
8	Resultat.....	35
8.1	Håndberegnete U-verdier etter NS-EN ISO6946 .....	35
8.2	Temperaturer og målt varmekraft .....	36
8.3	Målt og beregnet varmekraft.....	38
8.3	Utvalgt periode.....	39
9	Diskusjon.....	45
9.1	Håndtering av data.....	45
9.1	Utvalgt data .....	46
9.1.1	Fasade nord.....	46
9.1.2	Fasade sør.....	48
9.2	Sammenligning av data .....	49
9.2.1	Virkingen av termisk treghet .....	50
9.3	Alternativ målemetodikk.....	51
9.4	Feilkilder .....	51
10	Konklusjon .....	54
10.1	Videre arbeid .....	54
11	Kilder.....	57
12	Vedlegg .....	60
12.1	Vedlegg A- Beskrivelse av modul A.....	60
12.2	Vedlegg B- Beskrivelse av værstasjonen .....	66

## 4.1 Figurliste

- Figur 1: Tre former for varmetransport gjennom en bygningsdel av fast stoff og hulrom (SINTEF Byggforsk, 2018). ..... 6
- Figur 2: Eksempel på yttervegg med konveksjonssperre mellom isolasjonssjiktene (SINTEF Byggforsk, 2008). ..... 7
- Figur 3: Hentet fra (SINTEF Byggforsk, 2008) og revidert i ARCHICAD 22. Figuren illustrerer ulike felt i veggkonstruksjonen. .... 9
- Figur 4: Skjematisk oppbygning av fiberstrukturen i trevirke (SINTEF Byggforsk, 2015). ..... 13
- Figur 5: Krysslimt element. Bildet viser hvordan trevirke er limt vinkelrett på hverandre. Foto: SINTEF Byggforsk (SINTEF Byggforsk, 2009). ..... 16
- Figur 6: TRSYS01 med tilhørende varmefluksensorer HFP01 og termperaturmålere (Hukseflux Thermal Sensors, 2020). ..... 23
- Figur 7: HFP01 varmefluksensor (Hukseflux Thermal Sensors, 2016). ..... 24
- Figur 8: Figuren viser bilde av modulen på Søråsfeltet. Den nærmeste modulen, altså modulen til venstre er modul A (Jørgen Grue). ..... 27
- Figur 9: Illustrerer hvordan veggene på modul A er bygd opp. Figuren er tegnet i ARCHICAD 22 (Jørgen Grue). ..... 27
- Figur 10: Viser oppsettet på modul A på Søråsfeltet. Figuren er tegnet i ARCHICAD 22 (Jørgen Grue). ..... 28
- Figur 11: Bildet viser en aluminiumskledd pappskjerm som har til hensikt å skjerme temperatur- og varmefluksmåler for eventuell solstråling (Jørgen Grue). ..... 29
- Figur 12: Bildet viser utvendig skjerming av termaturmålere. Disse skjermingene er identiske både for nord- og sørfasaden (Jørgen Grue). ..... 29
- Figur 13: Bildet t.v. viser pappskjerm uten aluminiumsfolie. Det ble bemerket at denne skjermen kunne ta opp varme ved direkte stråling, og påvirke temperatur- og fluksmåleren. Bildet t.h. viser at mulighetene for mikroklima var til stedet da «sprekken» mellom veggen og pappskjermen var så liten (Jørgen Grue.) ..... 31
- Figur 14: Viser målt inne- og utetemperatur, samt målt varmefluks til sørfasaden til modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue). ..... 37
- Figur 15: Viser målt inne- og utetemperatur, samt målt varmefluks til nordfasaden til modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue). ..... 37

- Figur 16: Viser målt og beregnet varmekraft, samt differansetemperaturen for sørfasaden på modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue)..... 38
- Figur 17: Viser målt og beregnet varmekraft, samt differansetemperatur for nordfasaden på modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue). ..... 39
- Figur 18: Figuren viser målt og beregnet U-verdi underveis i hele måleperioden, samt utvalgt måleperiode for nord- fasaden. Grå rubrikk representerer utvalgt periode (Jørgen Grue)..... 41
- Figur 19: Figuren viser målt og beregnet U-verdi for sørfasaden for hele måleperioden. Her er det ingen utvalgt periode (Jørgen Grue)..... 41
- Figur 20: Figuren viser utvalgt periode for nordfasaden på modul A på Søråsfeltet. Grafene viser inne- og utetemperatur, samt målt og beregnet fluks (Jørgen Grue). .... 42
- Figur 21: Figurene viser verdier for perioder målt på sørfasaden på modul A på Søråsfeltet. Den eneste forskjellene på de to grafene er datoene verdiene er hentet fra (Jørgen Grue)..... 43
- Figur 22: Figuren over viser hvordan målt varmekraft er forskjøvet i forhold til beregnet varmekraft og differansetemperatur. Denne forskyvning ser ut til å være lik for samtlige døgn i utvalgt periode (Jørgen Grue). ..... 47
- Figur 23: Figuren viser sammenhengen mellom målt og beregnet varmekraft på sørfasaden. i tillegg er solstrålingen tatt med for å vise påvirkningen på differansetemperaturen. Stiplet linje markerer tregheten i vegg, hvor gråstiplet linje er tatt med for å sammenligne med nordfasaden (Jørgen Grue). ..... 48
- Figur 24: Grafen over viser forskjell i målt varmekraft og differansetemperatur på nord- og sørfasaden (Jørgen Grue)..... 49

## 4.2 Tabelliste

- Tabell 1: Varmeovergangsmotstander i henhold til NS- EN ISO9869 (SINTEF Byggforsk, 2018)..... 10
- Tabell 2: Skjermdump av tabell som viser tekniske, deriblant termiske egenskaper til typiske byggematerialer. Tabellen er hentet fra (Skari, 2016). ..... 12
- Tabell 3: Tabellen øverst viser en skjermdump av rådata logget av TRSYS01 og hentet opp i Excel (Jørgen Grue). ..... 32
- Tabell 4: Tabellen under viser de mest sentrale verdiene som er hentet ut av rådatafil i Excel (Jørgen Grue). ..... 32
- Tabell 5: Beregnet varmemotstand for nord- og sørfasade på modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue)..... 36
- Tabell 6: Skjermdump av beregninger gjort av hensyn til krav i BS ISO9869-1:2014 (Jørgen Grue)..... 40



## 5 Innledning

### 5.1 Bakgrunn

I dag er det et stort fokus på å bygge miljøvennlig. Trevirke er et fornybart materiale som i utgangspunktet har liten innvirkning på miljøet. Dette betinger at trevirket ikke er fraktet over lengre avstander av transport som forbruker fossilt brensel. Videre må trevirket komme fra en bærekraftig forvaltet skog (Edwardsen & Ramstad, 2015). Historisk sett skyldes det store forbruket av tre som konstruksjonsmateriale blant annet at det har vært svært tilgjengelig. Trevirke er også et sterkt materiale, og har som bygningskomponent et veldig stort bruksområde. Styrken er god med hensyn til vekt, og levetiden ved riktig forvaltning kan strekke seg over en lengre perioder (Edwardsen & Ramstad, 2015).

I tillegg til å være god på styrke har treet flere tekniske egenskaper som kan være fordelaktige i en bygningskropp, blant annet termiske egenskaper. Fourierloven sier at bevegelsen til varmen i faste materialer er proporsjonalt stor med temperaturforskjellen pr. lengdeenhet (Pedersen, 2015). Dette betyr i praksis at dersom det er ulik temperatur på to sider av et materiale, vil varmen bevege seg igjennom materialet. Tiden det tar er beskrivende for treheten til varmen. I teorien kan termisk treghet bidra til å dempe nedkjølingsbehovet, ved at veggen kvitter seg med overskuddsvarme i en tid hvor et overskudd av varme inntreffer. På samme måte kan veggen senke oppvarmingsbehovet, ved å lagre varmen når temperaturdifferansen mellom ute og inne er stor (Aurlien, 2020).

Veggene til modul A på Søråsfeltet er bestående av vindsperrer, isolasjon og krysslåst tre. Det er interessant å se på den termiske tregheten hos ulike materialer i symbiose, og om de eventuelt påvirker hverandre i større eller mindre grad. Videre er det interessant å se på hvilke måter solstråling påvirker termiske egenskaper i veggen.

Valgt målemetode samt benyttet testbygg ble bestemt før oppgaven var påbegynt. Det var derfor begrensninger knyttet til hvilke materialer som inngikk i testveggene og ikke, og i hvor stor grad. Målingene ble utført med et apparat kalt TRSYS01 som ved hjelp av temperatur- og varmekraftmålere beregner varmekraften og differansetemperaturen gjennom utvalgt vegg. Verdiene logges i lister med intervall på 10 minutter og 24 timer. Disse dataene sammenlignes med håndberegnete U-verdier for å kunne se om det er en forskjell mellom målt og beregnet U-verdi, og målt og beregnet fluks.



## 5.2 Problemstilling

I denne oppgaven sammenlignes feltmålt U-verdi med håndberegnet U-verdi etter NS-EN ISO6946. Formålet er å se i hvor stor grad termisk treghet i vegg på modul A på Søråsfeltet bidrar til å holde på varmen i modulen. Om den termiske tregheten til vegg, sammen med veggens evne til å lagre varme er stor, kan dette potensielt føre til at kravet til U-verdien for veggkonstruksjonen kan senkes. I denne oppgaven måles fluksen med varmestrømsmålere, og «målt U-verdi» er et produkt av «målt fluks». «Beregnet U-verdi» beregnes i henhold til NS-EN ISO 6946, og «beregnet fluks» er et produkt av «beregnet U-verdi». Med disse verdiene forsøkes det å besvare følgende problemstilling:

- Er det vesentlig stor forskjell mellom U-verdi målt med varmefluksmålere, sammenlignet med U-verdi beregnet etter NS-EN ISO6946 (Norsk Standard), mot en vegg med krysslimt tre på innside og ordinær isolasjon på utside?
- Er forskjellen stor nok til å endre krav til beregnet U-verdi?

## 5.3 Avgrensning

Hygrotermisk effekt er beskrevet som samlet effekt av varmekapasitet og fuktkapasitet. Trevirke oppfører seg slik at det tar opp fukt i takt med omgivelsene. Fuktkapasiteten er beskrivende for endring i likevektsfuktighet ved endring i relativ fuktighet (Asphaug et al., 2015).

I masteroppgaven til Mestad (2019) ble det antatt at hygrotermisk (latent) påvirkning på den ene siden av en vegg kunne studeres ved å måle varmefluksen på den andre siden.

Utgangspunktet for målingene ble å plassere HFP01-sensorer på begge sider av vegg. Middelveidien ble beregnet over et tidsintervall på et år. Det ble antatt at det gjennom en vegg på 250mm ville strøme svært lite fuktighet. Det var kjent i forkant av målingene at det ikke ble skapt varme eller forsvant varme inne i vegg (Aurlien, 2020).

På bakgrunn av dette ble det bestemt sammen med professor og veileder Tormod Aurlien at latent varme og hygrotermisk effekt ikke skulle være en del av denne oppgaven. Likevel er fuktegenskaper sentralt å nevne for hvert enkelt materiale, da fuktskader kan oppstå å gi utslag på resultatene.

Videre er det også satt begrensninger til analyse ved enkelte værfaktorer. Vinden kan påvirke konstruksjonen og tilhørende varmekapasitet ved at varmeovergangsmotstanden varierer. Dette blir nevnt som en mulig påvirkningsfaktor på den totale varmemotstanden til veggen, men en grundig analyse av vindpåvirkning har ikke blitt gjennomført.

## 5.4 Disposisjon

Oppgavens første hoveddel er **teorikapitlet**. Her beskrives all teori som er relevant for å kunne besvare problemstillingen. Varme, varmestrøm og varmemotstand er noen av flere sentrale begreper som blir beskrevet i dette kapitlet. I denne oppgaven er veggene på modul A på Søråsfeltet benyttet som måleobjekt. Derfor er alle bygningskomponenter i veggkonstruksjonen på dette bygget beskrevet, samt tilhørende materialegenskaper knyttet til blant annet fukt og varme. Benyttet formelverk er også lagt frem i teorikapitlet, med tilhørende forklaring av de ulike verdiene.

I **metodekapitlet** beskrives valgt måleutstyr, gjennomføringen av målingene, og i hvor stor grad valgt målemetodikk var riktig for denne oppgaven. I tillegg beskrives de ulike beregningsmetodene som ble utført underveis i måleprosessen. I metodekapitlet blir også måleoppsettet forklart. Illustrasjoner som viser hvordan måleapparatet ble installert, samt endringer utført underveis i måleprosessen er tatt med. Til slutt beskrives kort håndteringen av data, både fra værstasjonen på Søråsfeltet og fra målinger gjort av TRSYS01.

Hentet måledata blir så presentert under **resultatkapitlet** i oppgaven. Her vises relevante grafer, med verdier for ute- og innetemperaturer, samt målt og beregnet varmefluks.

Resultatene er ikke nødvendigvis entydige. I **diskusjonskapitlet** drøftes resultatene opp mot målemetodikken og andre temaer beskrevet i teorikapitlet. Fokuset var å drøfte data og resultater opp mot problemstillingen slik at et svar basert på beskrevet teori kunne fremlegges.

Da diskusjonen var gjennomført kunne svaret legges frem. Dette har blitt gjort i **konklusjonskapitlet**.



## 6 Teori

I teorikapitlet blir relevant teori knyttet til materialene som inngår i målingene beskrevet. Fukt- og varmetekniske egenskaper til hvert enkelt materiale i veggkonstruksjonen blir nevnt. I tillegg blir formelverket knyttet til beregning av varmemotstand og U-verdier fremlagt, sammen med annen teori knyttet til varmetransport og varme generelt.

Edwardsen & Ramstad, (2015) skriver mye relevant teori knyttet til temaet varme. I tillegg er relevant formelverk godt illustrert. Denne kilden er derfor i stor grad benyttet i teorikapitlet.

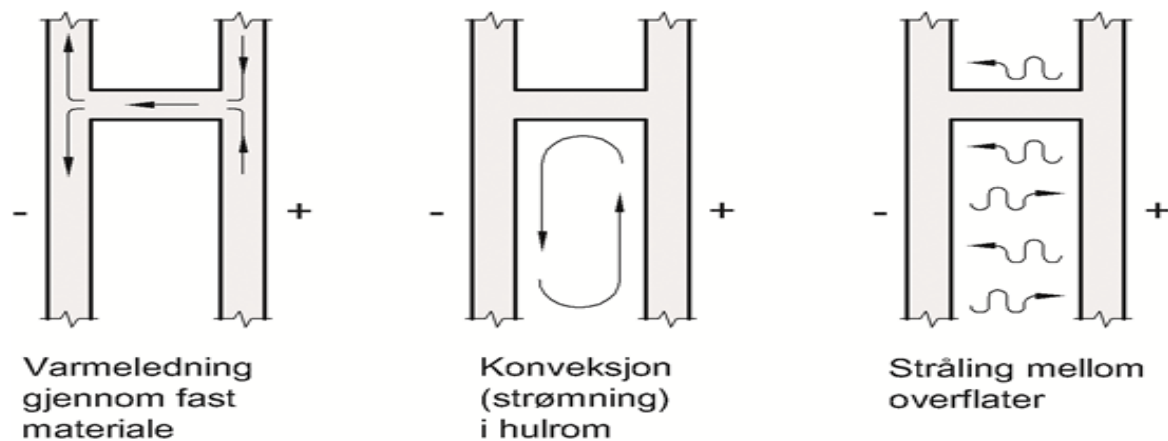
### 6.1 Varme

#### 6.1.1 Grunnleggende forståelse

Varmen til et stoff er beskrivende for hastigheten til atomene og molekylene i stoffet. Hyppig vibrering og svingninger betyr at stoffet er varmt. Reduseres disse svingningene, synker temperaturen. Disse bevegelsene representerer stoffets varmeenergi, hvorav stor hastighet på molekyler er synonymt med høy varmeenergi (Edwardsen & Ramstad, 2015). Både varmeenergi og varmemotstand er begreper som i dag er kjente i de fleste hjem. Varmeenergien, eller varmemengden angis som (kWh) eller (J), mens varmemotstanden måles i (W) eller (J/s) (Edwardsen & Ramstad, 2015).

#### 6.1.2 Varmetransport.

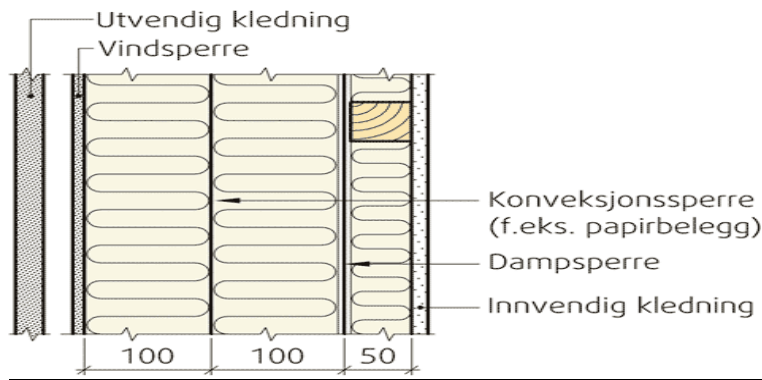
Varmetransport fremtrer så fort det oppstår en temperaturforskjell mellom to sider av et materiale. Varmetransporten foregår fra varm til kald side, og det skilles mellom tre ulike former for transport: Varmeledning, konveksjon og stråling (Edwardsen & Ramstad, 2015). Disse parameterne er beskrivende for hvor godt et stoff leder varme, og samlebegrepet er termisk konduktivitet (Pedersen, 2018a).



Figur 1: Tre former for varmetransport gjennom en bygningsdel av fast stoff og hulrom (SINTEF Byggforsk, 2018).

Når varme molekyler kolliderer med kalde molekyler overføres det energi fra de varme til de kalde molekylene. Dette kalles for varmeledning (se Figur 1) (Edwardsen & Ramstad, 2015). En av grunnene til at metaller leder både varme og elektrisitet godt, er fordi metaller har elektroner som er lett bevegelige (Ormestad & Pedersen, 2019). Varmeledning skjer i faste stoffer, væsker og gasser, men denne formen for varmetransport er mest effektiv i materialer med høy molekyltetthet (Edwardsen & Ramstad, 2015).

I midten av Figur 1 er konveksjon illustrert. I en hul vegg med en varm og en kald side vil det oppstå konveksjon. Dette skjer ved at luft som er i kontakt med den varme siden av veggen blir lettere og stiger, samtidig som at luft i kontakt med kald side blir tyngre og synker. På denne måten vil varm luft komme i kontakt med kald side, og kald luft vil komme i kontakt med varm side. Luftrom i isolasjonssjiktet i veggkonstruksjoner vil føre til konveksjon og er derfor ugunstig, da det vil føre til tapt energi i form av varme. For å forhindre dette settes det vanligvis inn en konveksjonssperre i isolasjonssjiktet, i vegger som har et isolasjonssjikt tykkere enn 200mm (Edwardsen & Ramstad, 2015), som illustrert i Figur 2.



Figur 2: Eksempel på yttervegg med konveksjonssperre mellom isolasjonssjiktene (SINTEF Byggforsk, 2008).

I likhet med lysbølger og radiobølger er varmestråling en form for elektromagnetisk stråling. Dersom strålingen forårsakes av bevegelser i et stoff knyttet til stoffets termiske egenskaper, kalles strålingen for termostråling (Pedersen, 2017). Både kalde og varme materialer emitterer (sender ut) og absorberer (tar opp) varme. Netto varmetransport ved varmestråling går alltid fra varm til kald side, fordi et varmere materiale vil sende ut mer varme enn et kaldt materiale (Edvardsen & Ramstad, 2015). Videre bestemmes en transmisjonsfaktor ( $\tau$ ) og en refleksjonsfaktor ( $r$ ). Transmisjonsfaktoren er beskrivende for hvor mye av varmestrålene materialet absorberer, mens refleksjonsfaktoren sier noe om hvor mye varmestråling som blir reflektert tilbake. Summen av ( $\tau$ ), ( $r$ ) og absorpsjonsfaktoren ( $\alpha$ ) er alltid lik 1 (Edvardsen & Ramstad, 2015).

$$E = 5,68 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad \left(\frac{W}{m^2}\right) \quad (\text{Formel 6.1})$$

Strålingsintensiteten er et mål på størrelsen til varmestrålingen, og har betegnelsen ( $E$ ). Epsilon ( $\varepsilon$ ) er emisjonsfaktoren til det gitte materialet, og har en verdi på mellom 0 og 1. Emisjonsfaktoren er et forholdstall som forteller hvor mye varmestråling stoffet emitterer i forhold til hva som faktisk er mulig. Temperaturen ( $T$ ) er overflatetemperaturen på stoffet og måles i Kelvin (Edvardsen & Ramstad, 2015).

Samlebegrepet for varmetransport som skyldes varmeledning og/eller stråling kalles varmekonduktivitet. Sitat: «Varmekonduktiviteten angir hvor mye varme per tidsenhet, målt i watt ( $W$ ), som strømmer gjennom et areal på  $1m^2$  av et materialsjikt ved en konstant temperaturgradient gjennom materialet på  $1 K$  per meter tykkelse ( $1 K = 1 C$ )» (SINTEF Byggforsk, 2018).

Ved beregning av U-verdi etter NS EN ISO6946 benyttes dimensjonerende verdier for varmekonduktivitet. Dette er verdier for produkter som har blitt bestemt gjennom en rekke målinger ved hjelp av ulike måleapparater, der krav og korreksjoner i henhold til produktstandard er ivaretatt (SINTEF Byggforsk, 2003b). I tabell i NS-EN ISO10456 finnes verdier for dimensjonerende varmekonduktivitet for ulike materialer. For isolasjonsprodukter der krav til varmetekniske egenskaper er svært strenge, stilles det krav til at produsenten kontrollerer at varmekonduktiviteten er i henhold til produktstandard. Dette kalles deklart varmekonduktivitet (SINTEF Byggforsk, 2018).

### 6.1.3 Varmemotstand

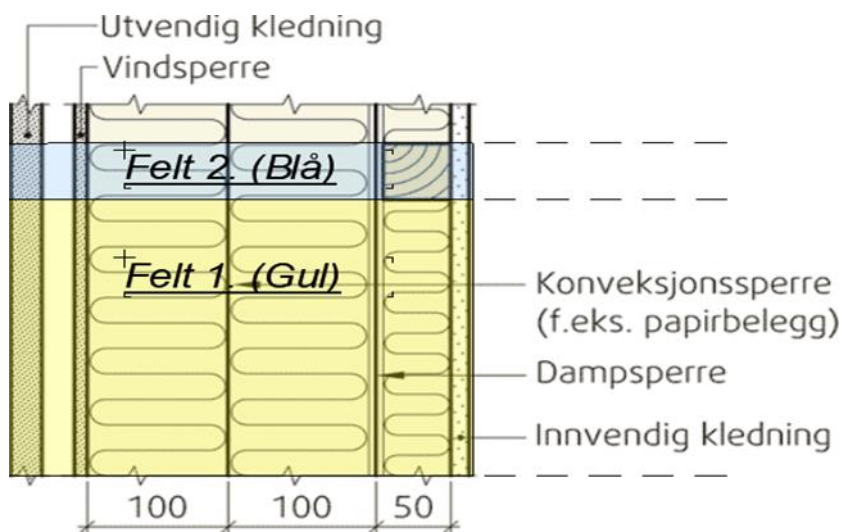
Varmemotstanden er beskrivende for varmetapet gjennom en konstruksjon, ved at varmemotstanden er den inverse av u-verdien. For å beregne varmemotstanden må tykkelsen på materialene i konstruksjonen, samt varmekonduktiviteten til aktuelle materialer være angitt (Edwardsen & Ramstad, 2015).

$$R = \frac{d}{\lambda d} \quad \left( \frac{m^2 K}{W} \right) \quad (\text{Formel 6.2})$$

Formel 6.2 er gjeldene dersom beregnet materialsjikt er homogent. Varmemotstand (R) måles ved å ta tykkelsen på matrealsjiktet (d) og dividere på dimensjonerende varmekonduktivitet ( $\lambda d$ ).

Total varmemotstand beregnes ved å legge sammen summen av målte varmemotstander for hvert enkelt materialsjikt (Edwardsen & Ramstad, 2015). I eksempelvis yttervegger og takkonstruksjoner beregnes total varmemotstand etter en forenklet metode gitt i NS-EN ISO 6946. Denne metoden er forenklet ved at varmestrømmen står vinkelrett på veggen. Dette gjør at veggen kan deles inn i ulike felt og varmestrømmen kan beregnes enkeltvis for hvert felt (se Figur 3). Metoden krever at en øvre og en nedre grenseverdi for varmestrømmen beregnes (Edwardsen & Ramstad, 2015). Formel 6.3 viser hvordan øvre grenseverdi beregnes.

$$RT_{\theta} = \frac{A1 + A2}{\frac{A1}{RT1} + \frac{A2}{RT2}} \quad \left( \frac{m^2 K}{W} \right) \quad (\text{Formel 6.3})$$



Figur 3: Hentet fra (SINTEF Byggforsk, 2008) og revidert i ARCHICAD 22. Figuren illustrerer ulike felt i veggkonstruksjonen.

( $RT_0$ ) er øvre grenseverdi for varmestrømmen i konstruksjonen. ( $A_1$ ) og ( $A_2$ ) representerer arealet på felt 1 og 2 i konstruksjonen, og ( $RT_1$ ) og ( $RT_2$ ) representerer total varmestrøm gjennom henholdsvis felt 1 og felt 2 (Edwardsen & Ramstad, 2015). Formel 6.4 viser hvordan nedre grenseverdi beregnes.

$$RT_n = R_{si} + \sum R_{i-j} + R_{se} \quad \left( \frac{m^2 K}{W} \right) \quad (\text{Formel 6.4})$$

( $RT_n$ ) er nedre grenseverdi for varmestrømmen i konstruksjonen. ( $\sum R_{i-j}$ ) er summen av varmemotstanden til hvert enkelt sjikt. ( $R_{si}$ ) og ( $R_{se}$ ) representerer inn- og utvendig varmeovergangsmotstand. Varmeovergangsmotstanden er varmemotstand påført av luftsjiktene inntil konstruksjonens overflater. I praksis varierer disse varmeovergangsmotstandene som følge av variasjoner i blant annet solstråling, vind og temperatur. Forenklete verdier for innvendig- og utvendig varmeovergangsmotstander er gitt i Tabell 1, og disse verdiene benyttes ved håndberegning av U-verdi (Edwardsen & Ramstad, 2015).



Tabell 1: Varmeovergangsmotstander i henhold til NS- EN ISO9869 (SINTEF Byggforsk, 2018).

Overflate	Varmeovergangsmotstand (m <sup>2</sup> K/W)		
	Varmestrømsretning		
	Oppover	Horisontalt <sup>1)</sup>	Nedover <sup>2)</sup>
Innvendig (R <sub>si</sub> )	0,10	0,13	0,17
Utvendig (R <sub>se</sub> )	0,04	0,04	0,04
Utvendig, inkludert ventilert kledning	0,10	0,13	0,17

$$RT = \frac{RT_{\phi} + RT_n}{2} \quad \left( \frac{m^2 K}{W} \right) \quad (\text{Formel 6.5})$$

Formel 6.5 tar for seg beregning av total varmemotstanden for målt konstruksjon (RT) (Edwardsen & Ramstad, 2015).

#### 6.1.4 Varmegjennomgang og varmestrøm.

Invers verdi av total varmemotstand betegnes som varmegjennomgang, og har koeffisient U (Edwardsen & Ramstad, 2015).

$$U = \frac{1}{RT + \Delta U} \quad \left( \frac{W}{m^2 K} \right) \quad (\text{Formel 6.6})$$

Formel 6.6 benyttes til å beregne U-verdien til blant annet trehuskonstruksjoner. (RT) er total varmegjennomgangsmotstand, og (ΔU) tar for seg eventuelle tillegg i forbindelse med luftrom i isolasjonssjiktet. NS-EN ISO 6946 har satt verdier for ΔU, men det forventes at hulrom i isolasjonssjiktet i trehusbygg ikke forekommer, og ΔU settes derfor lik null. Videre brukes utregnet U-verdi til å beregne varmestrømmen gjennom konstruksjonen (Edwardsen & Ramstad, 2015).

$$\varphi = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_u) \quad (W) \quad (\text{Formel 6.7})$$

Varmefluksen ( $\varphi$ ) beregnes ved å multiplisere U- verdien (U) med arealet (A) av bygningsdelen og temperaturforskjellen mellom inne ( $\theta_i$ ) og ute ( $\theta_u$ ) som vist i Formel 6.7 (Edvardsen & Ramstad, 2015).

### 6.1.5 Varmekapasitet og termisk treghet.

Fourierloven sier at varmekapasiteten er proporsjonal med temperaturgradienten i stillestående væsker og faste stoffer. Temperaturgradienten er beskrivende for temperaturforskjellen i strømningsretningen per lengdeenhet (Pedersen, 2015). Det betyr at temperaturforskjellen på hver side av aktuelt materiale er selve drivkraften for bevegelsen til varmen, sammen med det materialets tekniske egenskaper. I praksis beskriver loven begrepet «termisk treghet», en egenskap som viser til at endring av temperatur på en side av en konstruksjon ikke fører til en umiddelbar forandring i temperatur på den andre siden (Skari, 2016). Dersom varmeenergi beveger seg sakte gjennom en konstruksjon er dette synonymt med at konstruksjonen fungerer som et energilager. I praksis lagrer konstruksjonen varmen i den tiden varmen bruker på å gå gjennom konstruksjonen (Skari, 2016).

Det finnes flere ulike prinsipper for varmelagring, der de mest relevante er sensibel varmelagring, latent varmelagring og termokjemisk varmelagring (Skari, 2016). I denne oppgaven er det sensibel varmelagring som forventes da latent varme utgår som beskrevet i delkapittel 5.3. Termokjemisk varmelagring er ikke relevant da ingen termokjemiske materialer finnes i veggen på modul A på Søråsfeltet (se Vedlegg A).

Sensibel varme kjennetegnes blant annet ved at den lagrede varmen er temperaturavhengig. Dette fordi denne formen for varmelagring innebærer at lagringsmediet endrer temperatur dersom temperaturen til omgivelsene selv endres. Mengden sensibel varme lagret i en konstruksjon er avhengig av størrelsen på temperaturendringen, densiteten til materialet og volumet til veggen. I tillegg er den spesifikke varmekapasiteten med på å bestemme mulig mengde lagret energi i form av varme. (Skari, 2016). Formel 6.8 viser hvordan sensibel varme beregnes.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot \Delta T \quad (J) \quad (\text{Formel 6.8})$$

Hvor godt egnet et materiale er for lagring av sensibel varme avhenger av flere tekniske egenskaper (Formel 6.8), blant annet den spesifikke varmekapasiteten ( $c_p$ ) til materialet. Den

spesifikke varmekapasiteten forteller hvor mye varme som utveksles mellom en kilo av et materiale og omgivelsene, dersom temperaturen til omgivelsen varierer med en grad (Pedersen, 2018b). En stor/høy varmekapasitet betyr i praksis at aktuell konstruksjon har anlegg for å ta opp å lagre mye varme, og er med på å forklare i hvor stor grad konstruksjonen kan holde på varmen ved temperaturodringer (Skari, 2016). I tillegg er materialets evne til å lede varmen sentral. Varmeledningsevnen, varmekonduktiviteten, er beskrevet i delkapittel 6.1.2. Tabell 2 viser en oversikt av termiske egenskaper for typiske byggematerialer.

Tabell 2: Skjermdump av tabell som viser tekniske, deriblant termiske egenskaper til typiske byggematerialer. Tabellen er hentet fra (Skari, 2016).

Materiale	Materialdensitet $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Spesifikk varmekapasitet $c$ (J/(kg K))	Termisk konduktivitet $\lambda$ (W/(m·K))	Termisk effusivitet $b$ (J/m <sup>2</sup> ·K·s <sup>0.5</sup> )	Termisk diffusivitet $a$ (m <sup>2</sup> /s)
Stål	7800	450	50	13300	$15 \cdot 10^{-6}$
Granitt	2600	1000	2.8	2700	$1.1 \cdot 10^{-6}$
Betong	2300	1000	1.7	2000	$0.75 \cdot 10^{-6}$
Porebetong	500	1000	0.15	275	$0.3 \cdot 10^{-6}$
Teglstein	1600	830	0.6	900	$0.45 \cdot 10^{-6}$
Tre (gran, furu)	500	1600	0.13	325	$0.16 \cdot 10^{-6}$
Mineralull	15-150	1030	0.036	25-75	$2.3-0.23 \cdot 10^{-6}$

## 6.2 Tre

### 6.2.1 Generelt

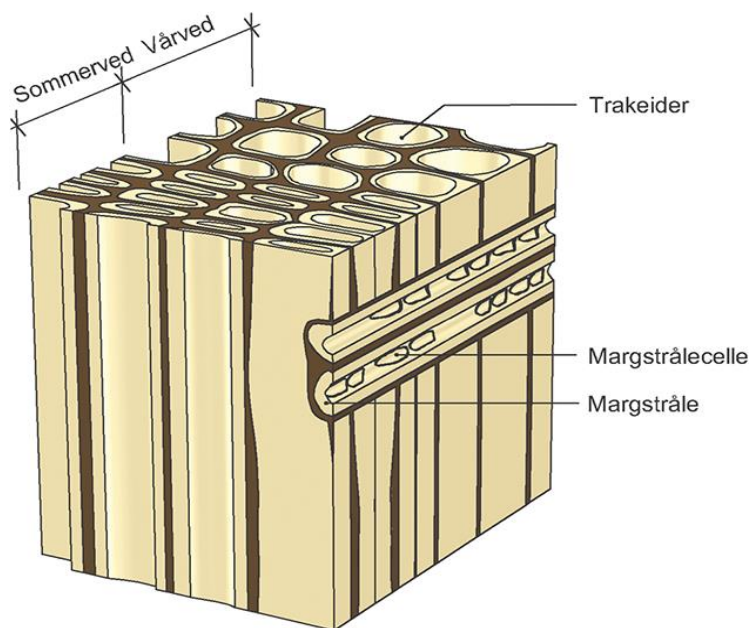
For at vi i Norge skal kunne klassifisere et område som skog betinger det at avstanden mellom trærne ikke er over 30 meter, og høyden på trærne må være minimum 5 meter. I definisjonen inngår også krav til planteliv og undervegetasjon (Sunding, 2019). Skogen blir sett på som et av verdens viktigste økosystemer. Dette skyldes blant annet at den fungerer som en klimaregulerende faktor gjennom frigjøring av oksygen og binding av karbondioksid. Type skog blir klassifisert etter sammensetning og vekstkrav. I Norge blir hovedsakelig trær fra barskog benyttet som konstruksjonsvirke, nærmere bestemt gran og furu (Sunding, 2019).

For at bruk av trevirke skal kunne betegnes som bærekraftig er det viktig å forsikre seg om at trevirket kommer fra en bærekraftig forvaltet skog (Edvardsen & Ramstad, 2015).

Internasjonale sertifiseringsordninger for skogbruk er etablert for å forsikre dette. I Norge

benyttes hovedsakelig PEFC (Program for the Endorsement of Forest Certification) (Sunding, 2019). Videre er helhetlige løsninger sentrale for å få til et bærekraftig produkt. Dette innebærer bruk av kjemikalier for å forbedre tekniske egenskaper i trevirket (Edwardsen & Ramstad, 2015).

Trevirke har en kompleks struktur med flere typer cellevev. Grunnvevet består av celler som kan utføre fotosyntese, samt styrkevev som består av både levende og døde celler. I grunnvevet finnes også margstråler. Dette er transportceller som står normalt på treet's lengderetning. Ledningsvevet består av celler som frakter produktet av fotosyntese opp og ned i treet, vanntransporterende celler og trakeider (Bøhmer & Aarnes, 2017). Trakeider er langstrakte, døde celler som går parallelt med treet's lengderetning. Veggene på margstrålene og trakeidene bidrar til å gi treet dets styrke (Edwardsen & Ramstad, 2015). Det ytterste laget til treet kalles hudvev, og er også kjent som korkhud. Dette vevlaget er mer eller mindre dødt (Bøhmer & Aarnes, 2017).



Figur 4: Skjematisk oppbygning av fiberstrukturen i trevirke (SINTEF Byggforsk, 2015).

Figur 4 viser oppbygningen av trevirke, med margstråler og trakeider normalt på hverandre. Figur 4 viser også at det er betydelig forskjell på vekstsesong. Veksthastigheten avtar på sommeren, og celleveggene blir tykkere og mørkere. Dette betyr at celler produsert på sommeren står for mesteparten av treet's styrke (Edwardsen & Ramstad, 2015).

Dersom det oppstår ujevnheter i strukturen i treet, vil man få svakheter i trevirket. Typiske svakheter er kvist og tennar. Tennar oppstår dersom treet må kompensere for ytre påkjenninger. Dette fenomenet er typisk på værutsatte steder hvor vekstretningen til treet endres som følge av eksempelvis sterk vind. Tennar kalles også reaksjonsved, og har en mye høyere tetthet enn vanlig trevirke (Edwardsen & Ramstad, 2015). Tennar er uønsket da fenomenet fører til dårligere styrkeegenskaper i trevirket. Dette skyldes at tennar deformeres raskere under tørking ved at trevirket krymper unormalt mye i lengderetningen (SNL, 2019). Kvist påvirker styrkeegenskapene til treet negativt ved at sammenføring mellom kvist og stamme fører til endring i retningen på fibrene i cellene til treet (Edwardsen & Ramstad, 2015).

### 6.2.2 Varme og fukt

Fuktinnhold i trevirke måles i prosent av trevirkets masse, og målene gjøres etter fullstendig uttørking rundt 100 grader celsius. Fuktighet i trevirke kan være både bundet og/eller fritt vann. Førstnevnte er fuktighet i celleveggene, mens fritt vann finnes i cellenes hulrom (SINTEF Byggforsk, 2015). Da lufta omkring trevirket varierer i temperatur, vil også likevektsfukten til trevirket variere. Dersom den relative fuktigheten til luften rundt trevirket er i balanse med det totale fuktinnholdet i trevirket selv, er trevirke og luften rundt i likevekt. Dette er definert som likevektsfukt (Edwardsen & Ramstad, 2015).

Krymping og svelling skjer når fuktinnholdet i trevirket endrer seg. Det er celleveggene som enten krymper eller sveller, hvilket betyr at treslag med høy densitet påvirkes av fuktbevegelser i større grad enn treslag med lav densitet. Gran og furu er treslagene som er mest brukt til konstruksjonsvirke i Norge, og disse har en middels stor volumkrymping og svelling grunnet fuktbevegelser (SINTEF Byggforsk, 2015).

Det er ikke bare volumet som endres i trevirket grunnet variasjoner i fuktinnhold, men også varmekonduktiviteten. Fuktinnhold, densitet og retningen på varmestrømmen er med på å påvirke trevirkets evne til å lede varme. Stort sett er det konduktiviteten på tvers av lengderetningen på fibrene som er interessant. NS-EN ISO 10456 viser til standardverdier for dimensjonerende varmekonduktivitet ved 12% fuktighet. Videre settes verdien for spesifikk varmekapasitet for trevirket generelt lik 1600 J(kgK) (SINTEF Byggforsk, 2015). Dette er

relativt høyt sammenlignet med stål som har en spesifikk varmekapasitet på 450(J/kgK). (Se Tabell 2).

### 6.2.3 Krysslimt tre

Krysslimt tre (KLT) produseres ved å lime sammen trevirke i form av lameller eller planker (Brandner, 2013). Lamellene er testet på styrke, og lagene i midten av elementet har lavere fasthet enn de ytterste lagene (Edwardsen & Ramstad, 2015). Antall lag med trevirke varierer i stor grad, og fra 3- 7 lag er normalt (Brandner, 2013). Krysslimt tre i konstruksjoner består typisk av lameller limt vinkelrett på hverandre, men variasjonen av produkter er stor (Edwardsen & Ramstad, 2015). Ved å lime trevirke vinkelrett på hverandre blir resultatet et svært stivt og sterkt produkt, som tåler belastning i flere retninger. Dette gjør at KLT kan erstatte andre materialer i produksjon av eksempelvis etasjeskillere og balkonger (Edwardsen & Ramstad, 2015). Figur 5 viser et eksempel på et krysslimt treelement.

Ulike limprodukter benyttes ved sammenføyning av lamellene. Limet er stort sett fuktbestandig, men det kan variere med bruksområdet. Det legges også inn hulrom i elementene for å øke varmegjennomgangskoeffisienten (Edwardsen & Ramstad, 2015).

Det er flere utfordringer knyttet til KLT-elementer. Typisk er luftlekkasjer i skjøtene på veggelementer produsert i krysslimt tre. Dette er uheldig da luftlekkasjer innenfra og ut øker faren for fuktskader og er kostbart i form av energi. Lekkasje utenfra og inn kan påvirke komfortsonen i form av trekk. Andre utfordringer knyttet opp mot krysslimt tre er at tre i seg selv er hygrotermisk. Dette betyr at trevirket krymper og sveller i takt med lufttemperatur og fuktighet. Dette er dog et problem som gjør seg gjeldene i større grad for andre treelementer, da stabiliteten hos KLT øker da lamellene er limt vinkelrett på hverandre (Skogstad et al., 2011).



Figur 5: Krysslimt element. Bildet viser hvordan trevirke er limt vinkelrett på hverandre. Foto: SINTEF Byggforsk (SINTEF Byggforsk, 2009).

## 6.3 Isolasjon

### 6.3.1 Generelt

Det finnes en hel rekke med ulike isolasjonsmaterialer. Polystyren, lettklinker, polyuretanskum og skumglass er eksempler på materialer som brukes i og rundt ulike deler av bygningskroppen. Skumglass brukes typisk som lett fyllmasse og isolasjon mot grunnen i gulv (SINTEF Byggforsk, 2004), mens glassull typisk brukes i vegger og i fuktbeskyttede bygningsdeler (Edvardsen & Ramstad, 2015). Mange av dagens isolasjonsmaterialer har egne produktstandarder som beskriver krav til produktet, hvilket danner grunnlaget for CE-merking (Edvardsen & Ramstad, 2015). CE-merket har som hensikt å informere myndigheter om at krav knyttet til sikkerhet er ivaretatt (Direktoratet for samfunnssikkerhet og Beredskap, u.å).

### 6.3.2 Varme og fukt

Hovedandelen av fuktopptak i isolasjonsmaterialer skjer gjennom diffusjon og kapillærsug. Typiske materialer som har lavt fuktopptak er materialer brukt i fuktbeskyttede områder, som eksempelvis mineralull. I NS-EN 12524 finnes tabeller med fuktinnhold til enkelte isolasjonsmaterialer etter at det har kommet i likevekt med luft med relativ fuktighet på 50 og 80% (SINTEF Byggforsk, 2004). Mineralull er en samlebetegnelse for stein- og glassull

(Edwardsen & Ramstad, 2015), og disse materialene har relativt lav likevektsfuktighet (SINTEF Byggforsk, 2004). Varmeisolasjonsevnen reduseres i svært stor grad dersom fuktinnholdet i materialet blir for stort. Verre er kombinasjonen av for høyt fuktinnhold og temperaturer under null. Da vil varmeledningsevnen øke i svært stor grad.

Varmeisolasjonsmaterialer har flere ulike prøvestandarder for beregning av varmemotstand, og testene utføres i laboratorium med middelvei lik 10 grader celsius (SINTEF Byggforsk, 2004).

Mineralull er gunstig å benytte som referanse når det skal ses på hvilke parametere som avgjør om et materiale egner seg som et termisk varmelager eller ikke. Dette fordi det er kjent at mineralull som isolasjonsmateriale fungerer «godt». Av Tabell 2 leses en tydelig forskjell i densiteten til mineralulla sammenlignet med de resterende materialene. I tillegg har mineralull en svært lav termisk konduktivitet. Disse verdiene er med på å senke varmeledningsevnen, og gjør at mineralull egner seg godt som isolasjonsmateriale (Skari, 2016).

## 6.4 Vindsperre

### 6.4.1 Generelt

Vindsperrer i bygningskonstruksjoner har flere egenskaper og funksjoner. I byggeprosessen brukes vindsperran som en klimaskjerm, og beskytter rommene og isolasjonen mot vær og vind. Det er viktig at vindsperra har minimal dampmotstand, for å kunne slippe fukt ut av veggen. Noen vindsperrer kan også brukes som avstivning av bygningskroppen, og et eksempel på et sånt produkt er GU-gips. Når bygget står ferdig utgjør vindsperrsjiktet sammen med dampsperrsjiktet byggets to klimaskjerner (Edwardsen & Ramstad, (2015); SINTEF Byggforsk, (2003a)).

Anblåsning er en form for luftlekkasje hvor luft siver utenfra og inn gjennom vindsperrsjiktet. Luften strømmer gjennom isolasjonssjiktet og ut igjen gjennom utettheter i vindsperran. Dette fører til varmetap da isolasjonsevnen til isolasjonen selv reduseres. Den andre formen for luftlekkasje er gjennomblåsning. Da strømmer lufta gjennom både vindsperrsjiktet og dampsperrsjiktet. Dette forekommer i mindre grad fordi lekkasjene ofte stoppes av en godt montert dampsperre. For å unngå lekkasjer i vindsperrsjiktet anbefaler



SINTEF Byggforsk at luftgjennomgang for en ferdig montert vindsperre ikke overstiger  $0,050 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{hPa})$  (SINTEF Byggforsk, 2003a).

#### 6.4.2 Varme og fukt

Vanndampmotstanden til en vindsperre bør være lav. Et mål på dette er Sd-verdien til vindsperren. SINTEF Byggforsk forteller at Sd-verdien for vindsperrer ikke bør overstige 0,5m (Edwardsen & Ramstad, 2015). Sd-verdi er definert som ekvivalent luftlagstykkelse, og verdien sier noe om hvor tykt et stillestående luftlag må være, for at dette luftlaget skal ha tilsvarende diffusjonsmotstand som materialsjiktet selv. Vanndampmotstanden er oppført i tabell for flere typer vindsperrer, og målingene er gjort med en relativ fuktighet på 94% på den ene siden og 50% på den andre siden (SINTEF Byggforsk, 2003a).

Edwardsen & Ramstad (2015) beskriver flere ulike vindsperreprodukter. Varmemotstanden til disse varierer i større og mindre grad. Eksempelvis er varmemotstanden til forhudningspapp satt til  $0,03\text{m}^2/\text{K}$ , mens varmemotstanden til eksempelvis asfaltimpregnerte trefiberplater er ca.  $0,24\text{m}^2/\text{K}$ .

### 6.5 Solstråling.

Det antas at mengden solenergi som treffer jordkloden i løpet av et år kan dekke verdens energibehov de neste 15 000 årene, gitt at energibehovet forblir uendret. (Rosvold, 2019). Videre er det slik at en gjennomsnittlig norsk bolig mottar strålingsenergi nok til å dekke husets energibehov ti ganger (Edwardsen & Ramstad, 2015).

Solstråling er en form for elektromagnetisk stråling. Strålingen har ulike bølgelengder, og sammenhengen mellom mengde energi og bølgelengde kalles spektralfordeling. Strålingsfluks er en del av den totale strålingen et bygg kan motta, sammen med diffus stråling og reflektert stråling. På en dag med godt, skyfritt vær kan en sørvendt vegg motta en strålingsfluks på nærmere  $1\,000\text{W}/\text{m}^2$  (Edwardsen & Ramstad, 2015). Dette er energi som lar seg utnytte i større eller mindre grad, avhengig av materialets absorptivitet. Absorptivitet er en konstant som forteller hvor mye elektromagnetisk stråling en kjemisk forbindelse kan absorbere, og verdien avhenger av bølgelengden til strålingen (Egeland, 2009). Sorte materialer har typisk

høy absorptivitet da «fargen» svart fremkommer ved at alt innfallende lys absorberes. Dette forklarer hvorfor svarte objekter utsatt for sollys over lengre perioder blir mye varmere enn lysere objekter (Holtsmark, 2013).



## 7 Metode

For å kunne besvare problemstillingen på en best mulig måte var det sentralt å benytte et måleinstrument som var godt egnet. Måleinstrumentet og dets egnethet blir beskrevet i metodekapittelet. I tillegg fremlegges standarden og tilhørende metodikk som er benyttet i forbindelse med oppsettet av måleverktøyet. Med logging av data hvert 10. minutt blir datamengden stor, og rådatafil med beskrivelse av håndtering blir fremlagt i delkapittel 7.6. Værdata logget av værstasjonen på Søråsfeltet er også inkludert i metodekapittelet. Dette skyldes at bidraget fra solstrålingen spiller en vesentlig rolle i tolkningen av data i diskusjonskapittelet. Temperaturforskjeller er en svært viktig parameter i beregning av U-verdi, både i metoden gitt i NS-EN ISO6946 og for målt U-verdi av TRSYS01. Utetemperatur logget av værstasjonen ble derfor benyttet underveis i oppgaven for å kontrollsikre at de utvendige temperaturmålerne fungerte som de skulle.

### 7.1 Valgt metode og tilhørende krav

Benyttet målemetode er i henhold til BS-ISO 9869-1:2014. Her står det beskrevet hvordan U-verdi kan beregnes på boliger i felt med ulike metoder, blant annet gjennomsnittsmetoden ved bruk av varmekrafts- og temperaturmålere (Kosmina, 2016). Denne standarden blir kun brukt som et underlag for oppgaven, og bidrar på den måten at den setter enkelte rammer for blant annet krav til måtemetodikk og kvalitet på måledata. Dette fordi hensikten med denne oppgaven er å se på forskjellen mellom målt og beregnet varmekrafts, og ikke kun målt U-verdi. Det blir beskrevet hva som står i standarden, og hvilke avvik som er gjort av hensyn til å besvare problemstillingen på best mulig måte. Beskrivelse av standardens krav er nevnt under, og avvik fra standarden er beskrevet i delkapittel 7.4.

Kosmina (2016) skriver at U-verdi kan beregnes ved å måle varmekrafts gjennom vegg med varmekraftssensorer og temperaturpar, dersom forholdene er konstante. Konstante forhold betyr i denne sammenheng at inne- og utetemperatur har en ubetydelig endring over et gitt tidsintervall. Slike konstante forhold er umulig å oppnå i felt. Alternative målemetoder er å utføre målinger i laboratorium, benytte dynamisk teori slik at det kan tas hensyn til svingninger i temperatur og varmestrøm, eller ved å benytte gjennomsnittsmålinger. For målingene vil hovedfokuset være å se på forskjellen mellom målt og beregnet fluks, og valgt metode er derfor gjennomsnittsmetoden. På denne måten kan bidraget fra veggens evne til å

lagre varme leses av på U-verdien, gjennom å sammenligne fluks beregnet med håndberegnet U-verdi, mot fluks logget av TRSYS01. Ved bruk av gjennomsnittsmetoden stilles følgende krav til målingene.

- De termiske egenskapene til materialene i konstruksjonen og varmegjennomgangskoeffisientene er konstante gjennom hele temperaturintervallet.
- Endring i varmemengde som er lagret i konstruksjonen er ubetydelig sammenlignet med den varmemengden som beveger seg gjennom konstruksjonen.

Videre stilles det også krav til måledata, hvor utgangspunktet er å vite spesifikk varmekapasitet for konstruksjonen som måles. Denne skal være kjent for å kunne estimere når og hvor lenge måleutstyret må logge. Har veggen en spesifikk varmekapasitet på mindre enn  $20\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$  skal testen kun foregå på natten, og den skal fortsette helt til det har fremkommet et 3-døgnintervall hvor veggens varmemotstand ikke varierer med mer eller mindre enn 5%. Grunnen til at testen kun skal foregå på natta er for å unngå at solstrålingen påvirker varmeinnholdet i veggen i for stor grad. Er varmekapasiteten høyere enn  $20\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$  skal testen vare helt til første og siste halvdel av testens periode har en varmemotstand som ikke varierer mer eller mindre enn 5% (Kosmina, 2016).

Videre stilles det også spesifikke krav til måleutstyret. Disse kravene er lagt til grunne for valgt måleutstyr, og står beskrevet i delkapittel 7.3.

## 7.2 Beskrivelse av måleinstrument

Ved valg av måleinstrument er det viktig å velge utstyr som er passende for testen som skal utføres. For måling av varmefluks i denne oppgaven ble TRSYS01 benyttet. Produktet er utviklet av Hukseflux Thermal Sensors og er et system med svært høy nøyaktighet (Hukseflux Thermal Sensors, 2020). Systemet er knyttet opp mot standarder som ISO 9869 og ASTM C1155/C1046.



Figur 6: TRSYS01 med tilhørende varmeflukssensorer HFP01 og termometer (Hukseflux Thermal Sensors, 2020).

Systemet leveres med to varmeflukssensorer og to par med tilhørende termometersensorer. Ved bruk av TRSYS01 kan varmemotstand og varmekonduktivitet beregnes fra overfalte til overflate ved hjelp av varmeflukssensorene og tilhørende termometer. Alternativt kan termometerne festes litt utenfor overflaten til målerobjektet. Da kan total varmemotstand beregnes, og benyttes videre til beregning av varmegjennomgangskoeffisienten (U-verdien). Metodene er beskrevet i ISO9869, og i (Kosmina, 2016). Sistnevnte forutsetter at gjennomsnittet av målinger tatt over et langt nok tidsintervall gir et godt nok estimat på «steady- state- condition». Om tidsintervallet er langt nok avhenger av testresultatene, og er nærmere beskrevet i delkapittel 7.1.

Varmeflukssensorene som benyttes i denne oppgaven heter HFP01. Dette er verdens mest populære varmeflukssensor for målinger gjennom blant annet bygningskomponenter (Hukseflux Thermal Sensors, 2016). Ved måling av varmefluk er det vesentlig at sensoren har lav varmemotstand, fordi at sensoren i seg selv ikke skal påvirke målingene gjennom bygningskomponenten. Sensoren er laget av en kompositt av keramikk og plast, med tekniske egenskaper som gjør varmemotstanden lav. Sensoren er i tillegg svært robust og slitesterk. Dette gjør den godt egnet for både lengre målinger på ett og samme sted, men også for hyppige monteringer på forskjellige typer bygningskomponenter (Hukseflux Thermal Sensors, 2016). Figur 7 viser hvordan en HFP01- sensor ser ut.



Figur 7: HFP01 varmefluksensor (Hukseflux Thermal Sensors, 2016).

HFP01- sensoren består av termoelementer. Disse elementene er koblet i serie og måler temperaturforskjellen langs flaten på sensoren. Termoelementene skaper en liten spenning som er/gir en lineær funksjon av temperaturforskjellen. Videre brukes denne temperaturforskjellen til å måle varmefluksen ved å dividere på den effektive varmekonduktiviteten til HFP01-sensoren (Hukseflux Thermal Sensors, 2016).

Den effektive varmekonduktiviteten til sensoren betegnes som sensitiviteten til sensoren, og den er unik for hver enkelt HFP01- sensor. Monteres HFP01 med blå side inn mot veggen, og rød side ut, vil varmefluksen ha positivt fortegn når varmefluksen beveger seg innenfra og ut. Formel 7.1 viser hvordan den målte spenningen omgjøres til varmefluks ved hjelp av sensitiviteten til sensorene.

$$\text{varmefluks} = \frac{U(\text{målt spenning})}{S(\text{sensitivitet})} \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad \text{Formel 7.1}$$

Sensitiviteten for sensorene brukt i denne oppgaven:

- HFP01 innendørs sørfasade: 62,97  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
- HFP01 innendørs nordfasade: 60,95  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$

### 7.3 Krav til måleutstyret og installasjonen

Valgt standard stiller krav til både måleinstrumentet og målemetodikken. Blant annet er valg av varmefluksensorer og tilhørende termometer sentralt. Kosmina (2016) skriver at nøyaktigheten på varmefluksensoren bør være på minimum +/-5%, samtidig som

temperaturmålerne bør ha en nøyaktighet på minimum 0.3K. HFP01-platene benyttet i dette prosjektet ble kalibrert til å ha en nøyaktighet på mindre enn 3%, og temperaturmålerne 0.1K (Hukseflux Thermal Sensors, 2016). Videre stilles det krav til kalibrering av varmekullingssensorer og temperaturmålere. Denne kalibreringen skal utføres hver 24 måned (Kosmina, 2016).

I tillegg til krav beskriver brukermanualen til TRSYS01 anbefalte forhold for installasjonen (Hukseflux Thermal Sensors, 2020). Blant annet er det anbefalt at varmekullingssensorene plasseres innendørs på nordvendt vegg, fordi det oftest er mest stabile temperaturer innendørs. HFP01-sensorene bør heller ikke komme i direkte kontakt med vann eller sollys. Videre er det viktig at sensorene ikke plasseres i nærheten av mulige feilkilder som kuldebroer og sprekker i konstruksjonen. Å montere sensorene i nærheten av varme- eller kjøleapparater er også uheldig, da disse kan påvirke målingene i stor grad.

HFP01-platen har en rød og en blå side. Det er anbefalt at den blå siden festes inntil veggen, mens den røde delen av platen vendes inn mot rommet. Brukermanualen til TRSYS01 anbefaler en tosidig tape kalt TESA 4939. Ved montering er det viktig å unngå luftlommer både mellom overflaten på bygningselementet og tapen, og tapen og HFP01. Dette forklares med at varmekonduktiviteten til luft kan påvirke utfallet for målingene ved at termisk resistens hos sensoren vil øke (Hukseflux Thermal Sensors, 2016).

De anbefalte forholdene gjelder også temperaturmålerne, hvilket kommer i par- ett par pr sensor. Disse monteres i nærheten av HFP01-sensorene. Temperaturmålerne bør heller ikke utsettes direkte for vær og vind. Når U-verdien skal beregnes er det viktig med varmesensorer som måler lufttemperaturen i tilknytning til materialet, og ikke overflatetemperaturen på materialet. Det er derfor vesentlig at varmesensorene ikke kommer i direkte kontakt med overflaten på elementet som skal beregnes.

## 7.4 Avvik fra krav og mulige feilkilder

Standarden stiller klare krav til spesifikk varmekapasitet, der målemetodikken og videre håndtering av data bygger på konstruksjonens varmekapasitet og at denne er kjent før testen starter. Den spesifikke varmekapasiteten til veggene på modul A på Søråsfeltet ble ikke målt i forkant av testen, hvilket betyr at kravet om at data kun fra nettene skulle ligge til grunne dersom spesifikk varmekapasitet var under  $20 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$  forble uvisst. Veggene er ikke



skjermet for sola, slik at veggen på sørsiden vil få tilført varmeenergi i form av solstråling på dager med fint vær.

Videre sier standarden at varmeenergien lagret i veggen er ubetydelig liten sammenlignet med varmeenergien som går igjennom veggen. I denne oppgaven undersøkes blant annet forskjellen mellom målt og beregnet varmefluks, der en sentral faktor er at beregnet varmefluks ikke tar for seg varmeenergien som er og blir lagret i veggen. Dette leses tydelig av grafer i resultat- og diskusjonskapittelet der målt varmefluks er forsinket med hensyn til beregnet varmefluks. Trolig er dette en følge av lagret varmeenergi i veggen. Differansen mellom målt og beregnet varmeenergi representerer i stor grad den overnevnte betingelsen, og vil bli diskutert i diskusjonskapittelet. Derfor neglisjeres krav om kontroll på lagret varmeenergi.

Kravet om at måleutstyret skal kalibreres hver 24 måned danner grunnlag for en mulig feilkilde. Dette fordi måleutstyret ved oppstart ikke hadde noen dokumentasjon på når siste kalibrering ble gjennomført.

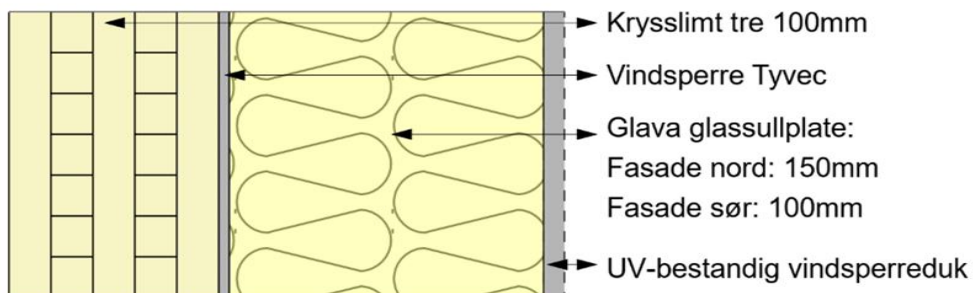
## 7.5 Beskrivelse av måleoppsett

Testene har blitt gjennomført på modul A på Søråsfeltet. Modulen er en del av et metrologisk felt og tilhører Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). Modulene er produsert hos Moelven MassivTre AS på Krøderen. Modulen ligger ute på et åpent jorde og er i stor og grad utsatt for vær og vind. Figur 8 viser modul A til venstre og modul B til høyre.



Figur 8: Figuren viser bilde av modulen på Søråsfeltet. Den nærmeste modulen, altså modulen til venstre er modul A (Jørgen Grue).

Sentralt i oppgaven er oppbyggingen av veggene. Både nord- og sørveggen består av et lag med 100mm krysslåst tre. Disse elementene er festet til hverandre med en kryssfinerplate på utsiden av elementene. Spor er frest ut i hvert element for å få plass til kryssfinerplaten. Innenfor denne kryssfinerplaten ligger to fugestenger. Videre finnes et vindsperresjikt bestående av en Tyvec vindsperre. Forskjellen på nord- og sørfasaden er isolasjonssjiktet. På nordfasaden ligger det 150mm med Glava glassullplate, mens på sørfasaden er platen kun 100mm tykk. Ytterst ligger en værbestandig vindsperreduk (Aurlien, 2020).



Figur 9: Illustrerer hvordan veggene på modul A er bygd opp. Figuren er tegnet i ARCHICAD 22 (Jørgen Grue).

Figur 10 illustrerer selve måleoppsettet. En varmefluxsensor og tilhørende temperatursensormåler er montert på nord- og sørfasaden på modul A på Søråsfeltet. Sensorene er plassert mellom lekter og elementskjøter, slik at sjiktene som måles er identiske med beskrivelsene i figur 9. Selve Hukseflux- måleapparatet og tilhørende PC stod oppkoblet i modulen under hele måleperioden. De to prikkete linjene i Figur 10 markerer over- og underkant på to vinduer. Disse vinduene var lukket under hele måleperioden, men de var ikke dekket til. Fluks- og temperaturmålere på sørfasaden var plassert omlag en meter fra disse vinduene, for at termiske egenskaper hos vinduet ikke skulle påvirke målingene gjennom veggen. Utvendige temperaturmålere var ført gjennom ventilsjakter på nord- og sørfasaden. Disse åpningene var tapet igjen under målingene.



Figur 10: Viser oppsettet på modul A på Søråsfeltet. Figuren er tegnet i ARCHICAD 22 (Jørgen Grue).

Blå rubrikk i Figur 10 representerer innvendig måleoppsett. HFP01 var festet med anbefalt tape beskrevet i delkapittel 7.3. Temperaturmåleren var festet med papp og anbefalt tape. Videre var en pappskjerm kledd med aluminiumsfolie montert over både varmefluxsensorene og innvendig temperaturmåler (se Figur 11), for å forhindre direkte sollys på sensorene. Dette var en utbedring som er beskrevet nærmere i delkapittel 7.5. En aluminiumskledd pappskjerm var i praksis kun nødvendig for måleoppsettet plassert på nordveggen, fordi det ikke finnes noen vinduer på nordveggen. Dermed ville sensor og innvendig temperaturmåler på sørveggen aldri bli truffet av solstråler. Likevel ble det valgt å sette opp skjerm for begge fasader for at monteringen av måleutstyret skal være så identisk som mulig.



Figur 11: Bildet viser en aluminiumskledd pappskjerm som har til hensikt å skjerme temperatur- og varmekraftmåler for eventuell solstråling (Jørgen Grue).



Figur 12: Bildet viser utvendig skjerming av termometeret. Disse skjermingene er identiske både for nord- og sørfasaden (Jørgen Grue).

Rød rubrikk i figur 10 representerer utvendig måleoppsett. Termometerne var festet til vegg med anbefalt tape beskrevet i delkapittel 7.3. Termometeret skulle ikke festes direkte på vegg, og en foliert dopapirrull ble benyttet for å unngå dette. Denne patenten sørget for å skjerme termometeret for vær og vind, samtidig som at den holdt termometeret på plass (se Figur 12).

## 7.5 Endring i måleoppsettet

Underveis i målingene ble det bemerket at benyttet pappskjerm kunne ta opp varme å påvirke innvendig temperaturmåler. I tillegg ble det bemerket at en mulighet for mikroklima var til stedet da pappskjermen ikke tillot fri luftstrøm (se Figur 13) (Aurlien, 2020). Løsningen ble en aluminiumskledd pappskjerm montert slik at den tillater fri luftstrøm (Se Figur 11).

Tidligere løsning er vist i figur 13. I tillegg måtte den utvendige monteringen av temperaturmålerne utbedres underveis. Verken gaffateip eller tesa byggtape hadde god nok heft imot den bløte lekten som vindspærren er festet med, eller vindspærren selv. For ikke å risikere å ødelegge vindspærren ble løsningen å tape mer, samt bytte ut tapen jevnlig uten å komme i nærheten av temperaturmåleren.

Det ble også bemerket at differansetemperaturen mellom ytter- og innervegg var liten underveis i målingene. Dette skyldes av at ingen ekstern varmekilde var påskrudd inne i modulen. I tillegg er det typisk for årstiden at differansetemperaturene mellom dag og natt ikke nødvendigvis er veldig store. Liten differansetemperatur fører til større usikkerhet i beregninger av U-verdier, og dermed også beregninger av fluks. Mestad (2019) hevder i sin masteroppgave at differansetemperaturen bør være over 10 grader. Derfor ble den eksterne varmekilden skrudd på den 14.03.2020.

Den aluminiumskledd pappskjermen ble byttet ut før den eksterne varmekilden ble påskrudd. Utvalgt data presentert i resultatkapittelet viser at data logget før varmen ble skrudd på, ikke er tatt med til videre vurdering. En eventuell endring i data grunnet den mulige feilkilden nevnt over er derfor ikke mulig å se ut fra utvalgt data.



Figur 13: Bildet t.v. viser pappskjerm uten aluminiumsfolie. Det ble bemerket at denne skjermen kunne ta opp varme ved direkte stråling, og påvirke temperatur- og fluksmåleren. Bildet t.h. viser at mulighetene for mikroklima var til stedet da «sprekken» mellom veggen og pappskjermen var så liten (Jørgen Grue.)

## 7.6 Håndtering av data

TRSYS01 er et system som er programmert til å logge to lister. Den ene listen logger data innenfor et 10 minutters intervall, og den andre logger intervaller på 24 timer. Felles for listene er at de logger identiske parametere. Tabell 3 er en skjermdump fra logget rådata i Excel, og Tabell 4 viser de mest sentrale dataene som er hentet ut av listen til TRSYS01 og benyttet videre i oppgaven. Denne tabellen er også brukt for å beregne andre verdier, som for eksempel utetemperatur og varmemotstand for begge fasadene.

Tabell 3: Tabellen øverst viser en skjermdump av rådata logget av TRSYS01 og hentet opp i Excel (Jørgen Grue).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	TOA5	CR1000	CR1000	E11797	CR1000.Std. CPU:trsys01		23979	HF_10min			
2	TIMESTAMP	RECORD	PTemp	E_HF1	E_HF2	HF1_Avg	T11_Avg	DT1_Avg	HF2_Avg	T21_Avg	DT2_Avg
3	TS	RN	deg C	uV/(W/m^2)	uV/(W/m^2)	W/m^2	deg C	deg C	W/m^2	deg C	deg C
4			Smp	Smp	Smp	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg
5	05.12.2017 14:30	0	20.83	60	60	0.07	21.16	-0.703	0.037	21.26	0.034
6	05.12.2017 14:40	1	20.91	60	60	-0.096	21.23	-0.624	15.58	21.26	0.065
7	05.12.2017 14:50	2	21.02	60	60	-0.303	21.35	-0.157	-12.06	21.27	0
8	05.12.2017 15:00	3	21.1	22	60	0.725	21.22	0.179	-1.849	21.25	-0.002
9	05.12.2017 15:10	4	21.18	62.97	60.95	-1.561	21.27	-0.588	-3.186	22.08	-0.225
10	05.12.2017 15:50	5	20.99	62.97	60.95	-29.54	14.56	-2.828	18.29	17.85	2.598
11	05.12.2017 16:00	6	20.96	62.97	60.95	-11.56	14.23	-2.931	23.37	17.59	2.664
12	05.12.2017 16:10	7	20.93	62.97	60.95	33.11	13.88	-2.883	14.26	16.96	2.792
13	05.12.2017 16:20	8	20.93	62.97	60.95	27.23	13.56	-2.461	13.38	16	2.295
14	05.12.2017 16:30	9	20.91	62.97	60.95	28.07	13	-2.631	16.31	15.5	2.75

Tabell 4: Tabellen under viser de mest sentrale verdiene som er hentet ut av rådatafil i Excel (Jørgen Grue).

<b>T11</b>	<b>DT1</b>	<b>HF1</b>	<b>T21</b>	<b>DT2</b>	<b>HF2</b>
Temperatur sørfasade inne	Temperatur-differanse mellom inne- og utetemperatur på sørfasade	Varmefluks sørfasade	Temperatur nordfasade inne	Temperatur-differanse mellom inne- og utetemperatur på nordfasade	Varmefluks nordfasade

$$U = \frac{\text{varmefluks}}{\text{temp. differanse}} \left( \frac{W}{m^2 K} \right) \quad \text{Formel 7.1}$$

$$R = \frac{1}{U} = R_{si} + R_{se} \left( \frac{m^2 K}{W} \right) \quad \text{Formel 7.2}$$

Da dataene fra forsøket var ferdig logget og lagt inn i Excel ble Formel 7.1 og 7.2 benyttet for å beregne U-verdi (varmeovergangsmotstand) og R (varmemotstand). Disse verdiene ble beregnet i gjennomsnitt per døgn, hvor verdier for ett og ett døgn ble lagt til for å se om dataene var i henhold til krav beskrevet i delkapittel 7.1. Metodikken for å beregne varmemotstanden beskrevet i ISO9869 sier at indre- og ytre varmeovergangsmotstand fjernes ved beregning av varmemotstanden R, slik som formel 7.2 viser. Verdier for R<sub>si</sub> og R<sub>se</sub> finnes i Tabell 1.

## 7.7 Værdata

Klimadata benyttet i denne oppgaven er hentet fra værstasjonen plassert på Søråsfeltet. Systemet logger data for samtlige temperaturvariabler hvert 10. sekund, hvor gjennomsnittsverdien for disse variablene lagres i datasettet hvert 10. minutt.

Værstasjonen på Søråsfeltet logger også data knyttet til stråling. Døgnsommer blir angitt i MJ/m<sup>2</sup> pr strålingsparameter og rådataene har benevning W/m<sup>2</sup>. Systemet logger også den spektrale fordelingen av strålingen med ulik fargekode per bølgelengde. Det er spesielt dataene for stråling som har blitt tatt hensyn til i denne masteroppgaven, for å undersøke sammenhengen mellom solstråling og varmeenergi i testveggen. Utetemperaturen logget av værstasjonen har også blitt evaluert for å kontrollsikre at termometerne til TRSYS01 er i orden (se Vedlegg B).





## 8 Resultat

I dette kapitlet blir resultater fra målinger presentert, både fra målinger på modul A på Søråsfeltet, samt håndberegnete U-verdier. I grafene vises blant annet beregnet og målt varmefluks, og grafene blir diskutert opp mot hverandre. Fokuset var å forholde seg til metodikken beskrevet i ISO9869. Resultater som ikke var i henhold til standarden, men som likevel bidrar til å underbygge relevant teori å besvare problemstillingen har blitt tatt med.

Resultatene er basert på målinger som er logget hvert tiende minutt. Måleperioden strakk seg fra 08.03.2020- 23.03.2020. Fra 08.03.2020- 14.03.2020 sto modulen for egen varme, og ingen ekstern varmekilde var tilkoblet. Den 14.03.2020 gikk veileder Tormod Aurlien inn i modulen og skrudde på en varmeovn (se delkapittel 7.5). Denne forble påskrudd ut måleperioden.

Om dataene var troverdige ble avgjort ved å studere hvor godt de imøtekommer krav beskrevet i kapittel 7. Videre ble utvalgt data hentet ut og illustrert i grafer sammen med håndberegnete verdier av U-verdi og varmefluks. Temperaturmålerne ble kontrollsikret ved å studere likheten mellom utetemperaturen på nordsiden av modulen med temperatur logget av værstasjonen.

### 8.1 Håndberegnete U-verdier etter NS-EN ISO6946

Tabell 5 viser beregnet varmemotstand gjennom nord- og sørfasade på modul A på Søråsfeltet. Dimensjonerende varmekonduktivitet ( $\lambda$ ) er hentet fra Edvardsen & Ramstad (2015), og Formel 6.2 er benyttet for å beregne varmemotstanden for sjiktene. Videre er formel 6.6 benyttet for å beregne total varmemotstand. Formel for øvre og nedre grenseverdi er i denne oppgaven ikke nødvendig å benytte da kun ett felt i veggkonstruksjonen skal beregnes. En direkte følge av dette er at det etter forenklet metode i NS-EN ISO6946 ikke er behov for å legge sammen øvre og nedre grenseverdi, for så å beregne en total varmemotstand.

Formlene er likevel beskrevet i oppgaven da varmen i praksis beveger seg på tvers av disse sjiktene, og en forståelse rundt dette er sentralt. Teorien rundt formelverket er beskrevet i delkapittel 6.1.3.

Tabell 5: Beregnet varmemotstand for nord- og sørfasade på modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue).

Sjikt	varmemotstand m <sup>2</sup> K/W
UV-bestendig vindspærreduk	0,03m <sup>2</sup> K/W
Isolasjonssjikt (sør)	100mm: 0,1/0,035 = 2,857 m <sup>2</sup> K/W
Isolasjonssjikt (nord)	150mm: 0,15/0,035 = 4,285 m <sup>2</sup> K/W
Tyvec vindspærreduk	0,03m <sup>2</sup> K/W
Krysslimt tre	100mm: 0,1/0,13 = 0,769m <sup>2</sup> K/W
varmeovergangsmotstand inne Rsi	0,13 m <sup>2</sup> K/W
varmeovergangsmotstand ute Rse	0,04 m <sup>2</sup> K/W
<b><u>Sum varmemotstand (R): fasade sør</u></b>	<b><u>3,856 m<sup>2</sup>K/W</u></b>
<b><u>Sum varmemotstand (R): fasade nord</u></b>	<b><u>5,284 m<sup>2</sup>K/W</u></b>

Med beregnet total varmemotstand kan formel 6.6 benyttes til å beregne U-verdi. Denne beregningen er gjort i henhold til beskrivelser i Byggforskserien (SINTEF Byggforsk, 2018).

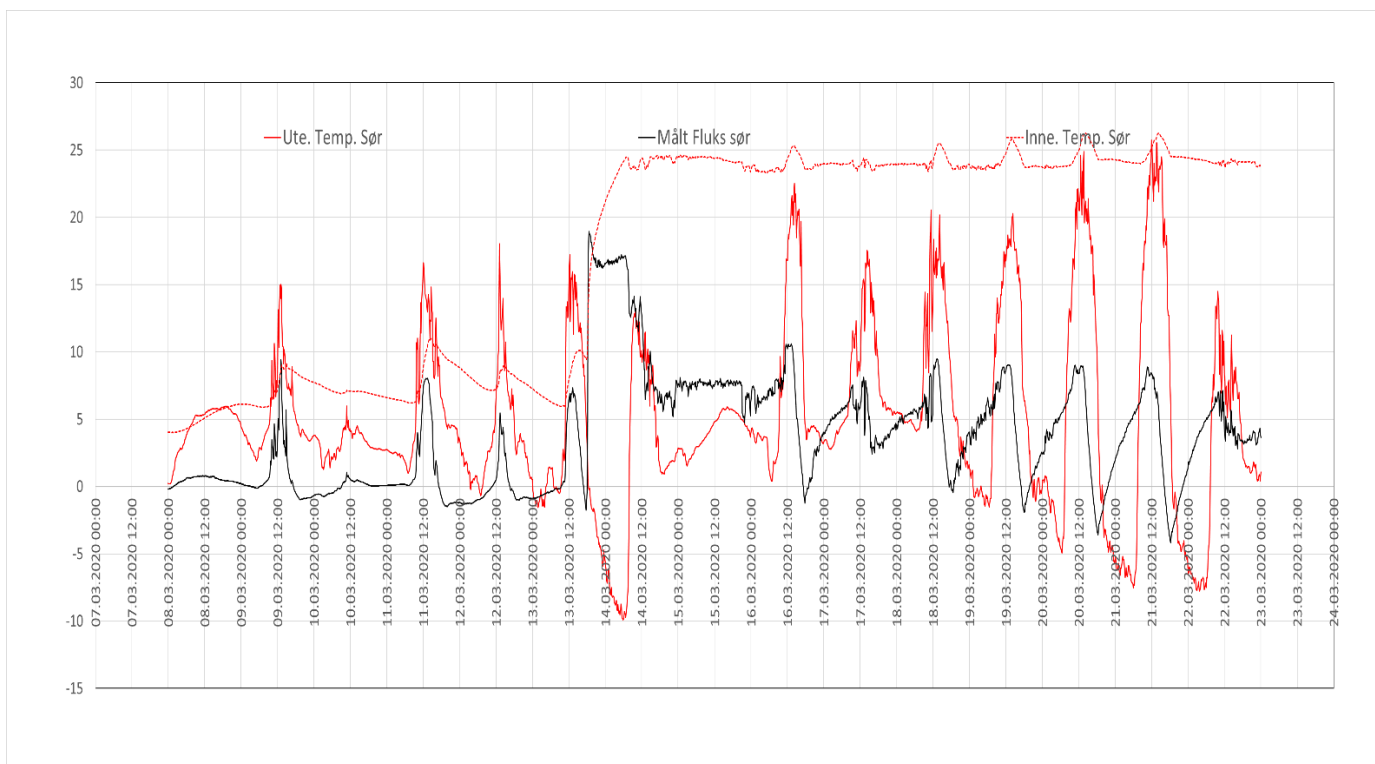
$$Fasade sør = \frac{1}{3,856 \text{ m}^2\text{K/W}} = 0,26 \text{ W(m}^2\text{K)}$$

$$Fasade nord = \frac{1}{5,284 \text{ m}^2\text{K/W}} = 0,19 \text{ W(m}^2\text{K)}$$

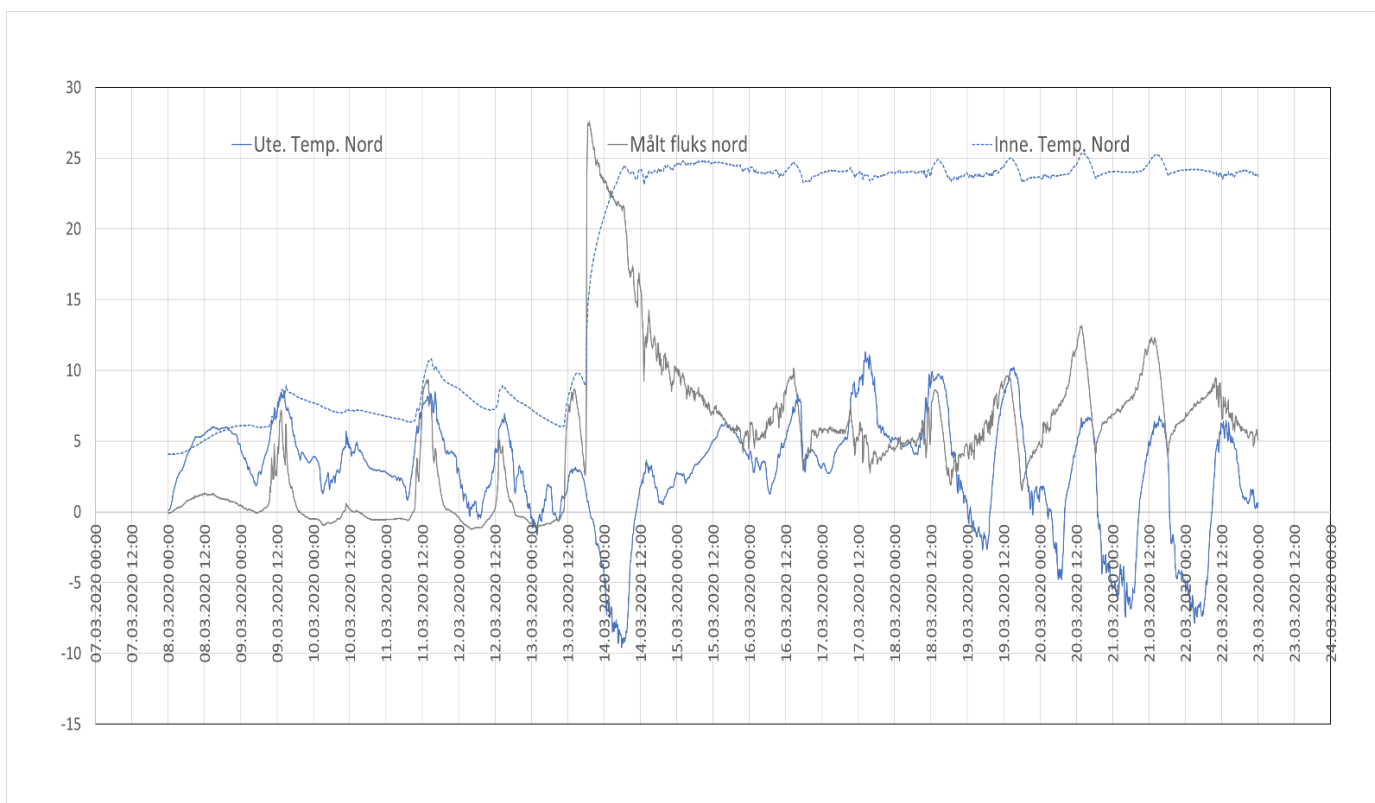
Disse verdiene blir brukt videre i oppgaven til å beregne varmefluks for hvert enkelt tidsintervall målt av TRSYS01. Dette gjøres ved å dividere målt varmefluks på håndberegnet U-verdi, hvor resultatet blir «beregnet varmefluks». Fluksverdiene målt av TRSYS01 blir som beskrevet i delkapittel 5.2 betegnet som «målt varmefluks».

## 8.2 Temperaturer og målt varmefluks

Figur 14 og 15 viser verdier for ute- og innetemperaturer for hele måleperioden, samt målt fluks. Av figurene kommer det tydelig fram at det ble skrudd på en ekstern varmekilde den 14.03.2020. Stor avstand mellom «Ute. Temp» og «Inne. Temp» betyr stor temperaturdifferanse. Da verdiene i grafen for varmefluks er positive, betyr dette at varmen beveger seg innenfra og ut.



Figur 14: Viser målt inne- og utetemperatur, samt målt varmekraft til sørfasaden til modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue).

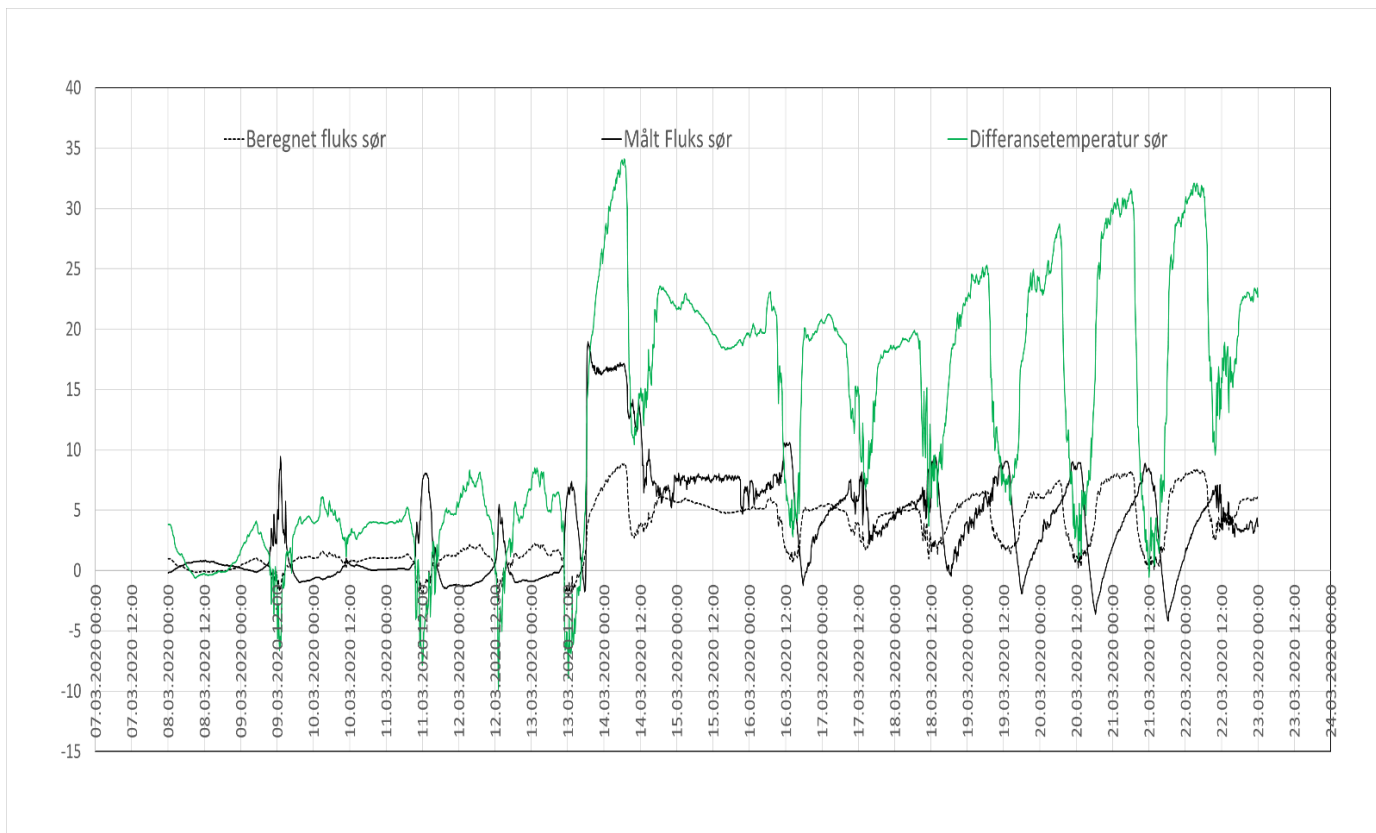


Figur 15: Viser målt inne- og utetemperatur, samt målt varmekraft til nordfasaden til modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue).

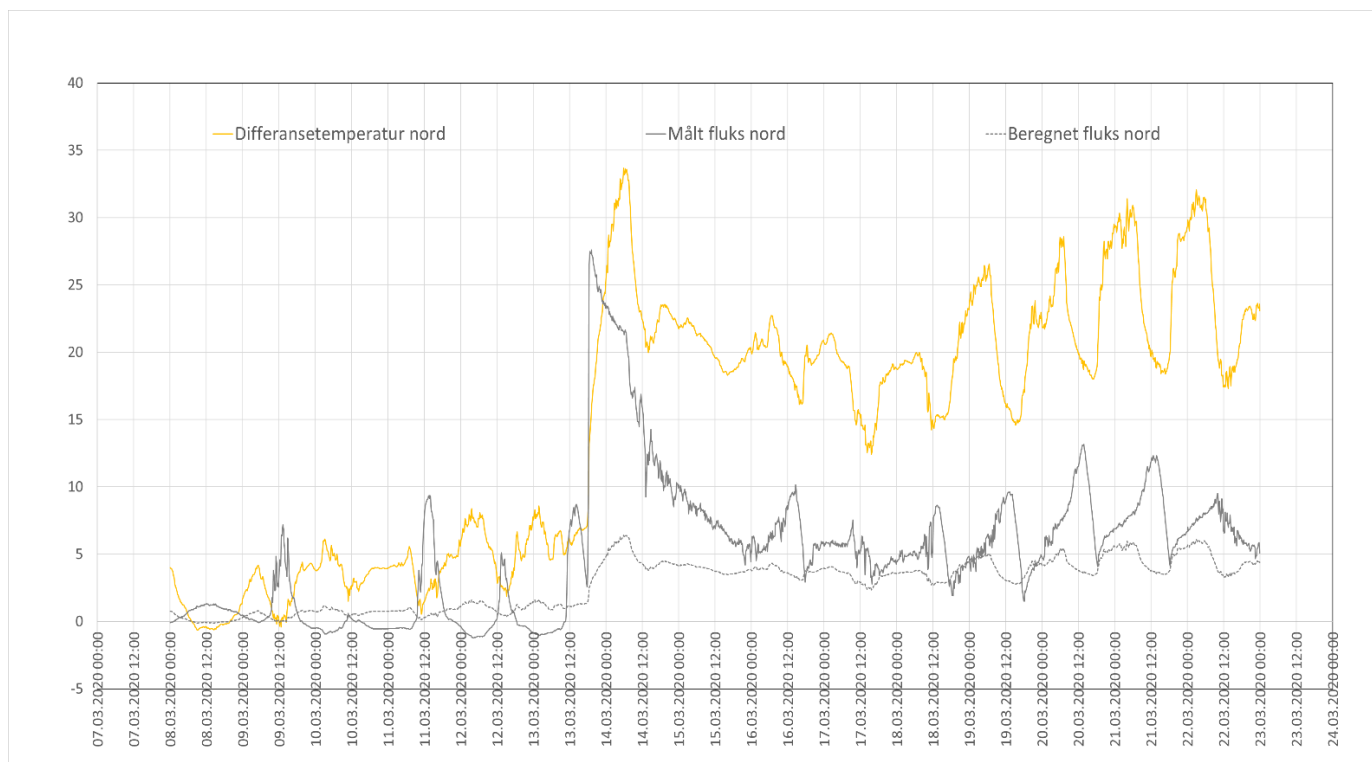
Av grafene leses en relativt lav gjennomsnittlig differansetemperatur for begge fasader frem til 14.03.2020. Gjennomsnittlig differansetemperatur øker fra og med 14.03.2020, som et resultat av at det ble tilført en ekstern varmekilde inne i modulen. Etter at en ekstern varmekilde er påskrudd, ses en forskyvning i fluks- grafen i forhold til utetemperaturen. Dette skjer i større grad dersom temperaturdifferansen mellom ute og inne er stor (figur 16 og 17). Felles for grafene er store svingninger i utetemperatur, hvilket skyldes temperaturforskjeller mellom dag og natt. Av grafene bemerkes det at sørsiden, som er påvirket av solstråling, har tydelig lavere differansetemperaturer på dagtid.

### 8.3 Målt og beregnet varmekraft

Figur 16 og 17 viser en sammenligning av målt og beregnet fluks for hele måleperioden, samt tilhørende differansetemperaturer. Grafene er viktige for å kunne se effekten av økt differansetemperatur sammenlignet med målt og beregnet varmekraft.



Figur 16: Viser målt og beregnet varmekraft, samt differansetemperaturen for sørfasaden på modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue).



Figur 17: Viser målt og beregnet varmekraft, samt differansetemperatur for nordfasaden på modul A på Søråsfeltet (Jørgen Grue).

Målt varmekraft er varmekraften målt med TRSYS01 og HFP01. Beregnet varmekraft er et resultat av samme differansetemperatur som målt varmekraft, men den håndberegnete U-verdi er benyttet i utregningene (se Formel 7.1). Av graf for målt fluks leses en forsinkelse i varmegjennomgangen sammenlignet med beregnet fluks. Forsinkelsen er med hensyn til differansetemperaturen, hvor toppunkter i differansetemperatur befinner seg rett over toppunkter for beregnet fluks.

### 8.3 Utvalgt periode

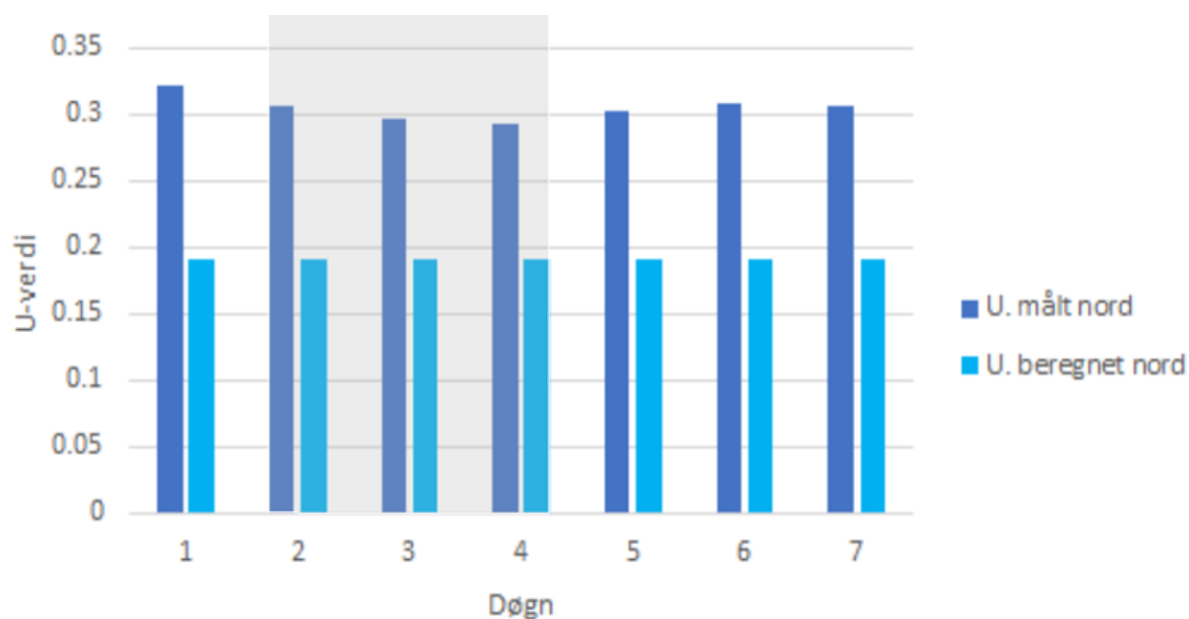
Perioden er valgt på bakgrunn av teori beskrevet i delkapittel 7.1, gjennomsnittsmetoden. Standarden, med tilhørende unntak beskrevet i delkapittel 7.4 ligger til grunn for utvalgt data. Beregningene viser at datautvalg hentet fra sørsiden ikke er i henhold til krav uavhengig av om spesifikk varmekapasitet er over eller under  $20 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{K})$ . Et resultat av dette var at et tre-døgnintervall som holdt seg innenfor kravet om  $\pm 5\%$  aldri fant sted. På nordsiden derimot, er utvalgt periode i henhold til krav uavhengig av spesifikk varmekapasitet.

Begrunnelsen for hvorfor kravene ble ivaretatt for nordsiden og ikke for sørsiden vil bli diskutert i diskusjonskapittelet.

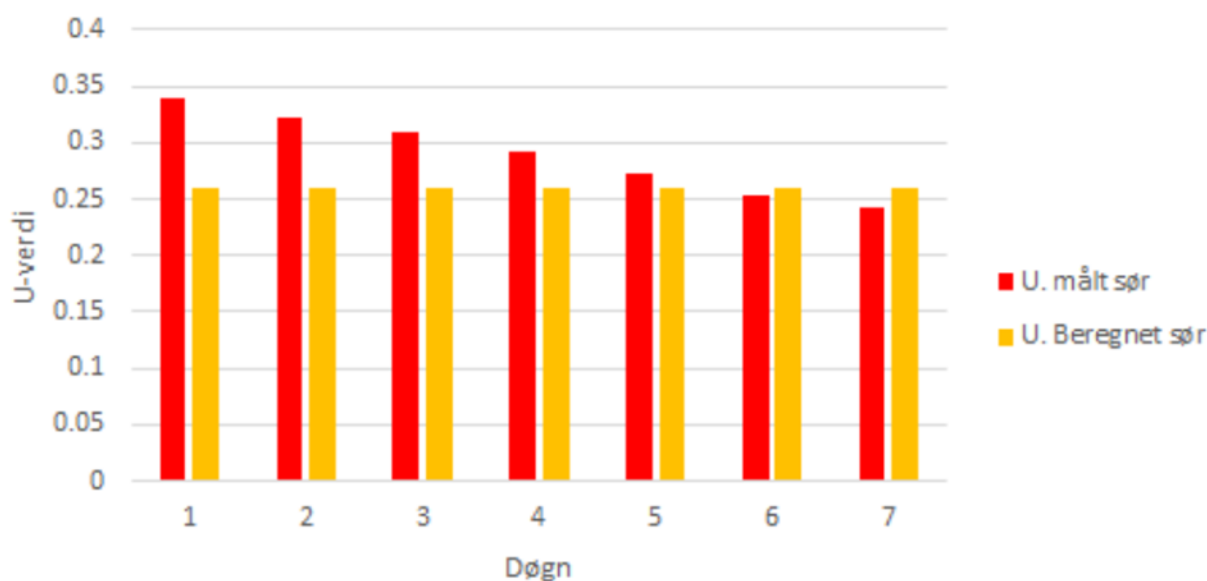
Tabell 6: Skjermdump av beregninger gjort av hensyn til krav i BS ISO9869-1:2014 (Jørgen Grue).

Dato	Gjenn. Temp	Gjenn. Fluks	Gjenn. U	$R = (1/U) - 0.17$	Forandring i R	Prosent økning/reduksjon i R
<b>Sør</b>						
16 mars - 17 mars	16.25454167	5.508430556	0.338885628	2.780848069	1.056043761	5,60 prosent
17 mars - 18 mars	16.22359375	5.222135417	0.321885243	2.936697252	1.040965223	4,09 prosent
18 mars - 19 mars	16.12277778	4.996212963	0.30988537	3.056999709	1.063159503	6,31 prosent
19 mars - 20 mars	16.45155035	4.810284722	0.292390967	3.25007829	1.077939114	7,79 prosent
20 mars - 21 mars	16.77347361	4.566215278	0.272228364	3.503386512	1.079139222	7,91 prosent
21 mars - 22 mars	17.10924653	4.330751157	0.25312343	3.780641795	1.050086782	5,00 prosent
22 mars - 23 mars	17.85729067	4.313353175	0.241545778	3.970001978	0	
<b>Nord</b>						
16 mars - 17 mars	19.73104167	6.362090278	0.322440669	2.931345754	1.053972874	5,39 prosent
17 mars - 18 mars	18.62222222	5.713111111	0.306789976	3.089558909	1.037154387	3,71 prosent
18 mars - 19 mars	18.53900463	5.494097222	0.296353409	3.204349576	1.016449568	1,64 prosent
19 mars - 20 mars	19.07194444	5.565104167	0.291795322	3.257059741	0.9605496	3,95 prosent
20 mars - 21 mars	19.88381944	6.028016667	0.303161909	3.12856743	0.98206804	1,79 prosent
21 mars - 22 mars	20.72922454	6.393042824	0.308407235	3.072466085	1.008226308	0,82 prosent
22 mars - 23mars	21.20835317	6.490218254	0.306021792	3.097741137	0	

Tabell 6 viser hvordan beregningene er gjort i henhold til gjennomsnittsmetoden. TRSYS01 har logget verdier hvert tiende minutt for temperatur og varmefluks. Disse verdiene er blitt brukt til å regne gjennomsnittet av U-verdien det første døgnet, og deretter de påfølgende 24 timene helt frem til måleperiodens slutt. Videre er varmemotstanden R hentet ut, hvor innvendig- og utvendig varmeovergangsmotstand hentet fra Tabell 1 er trukket fra. Kravet som sjekkes i Tabell 6 er det som gjelder for konstruksjoner med spesifikk varmekapasitet på under 20 kJ/(m<sup>2</sup>K), og er nærmere beskrevet i delkapittel 7.1. Resultatene viser at nesten hele måleperioden er i henhold til kravet for fasaden på nordsiden, mens kravet ikke ivaretas på sørsiden.



Figur 18: Figuren viser målt og beregnet U-verdi underveis i hele måleperioden, samt utvalgt måleperiode for nord- fasaden. Grå rubrikk representerer utvalgt periode (Jørgen Grue).

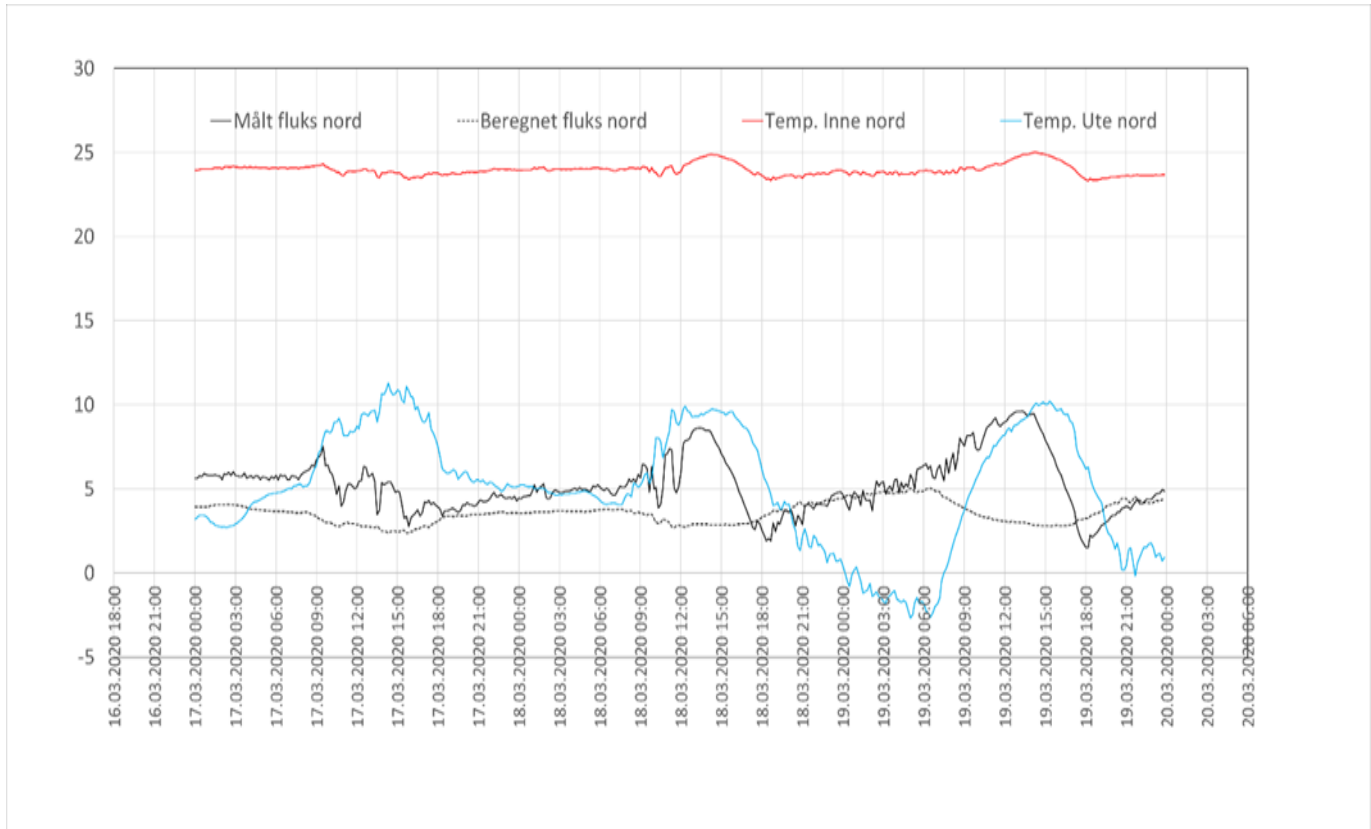


Figur 19: Figuren viser målt og beregnet U-verdi for sørfasaden for hele måleperioden. Her er det ingen utvalgt periode (Jørgen Grue).

Uthevet skrift i tabell 6 representerer utvalgt periode for nordfasaden. Denne perioden er markert med grå rubrikk i Figur 18 som viser utviklingen for målt og beregnet U- verdi underveis i perioden. Da verdiene på sørsiden ikke er i henhold til valgte krav, velges det å ta utsnitt av perioden som tydelig viser ønskede egenskaper. Disse egenskapene representeres av blant annet store sprang i differansetemperaturer og mengde solstråling. Utviklingen i målt U-verdi på sørfasaden er vist i Figur 19.

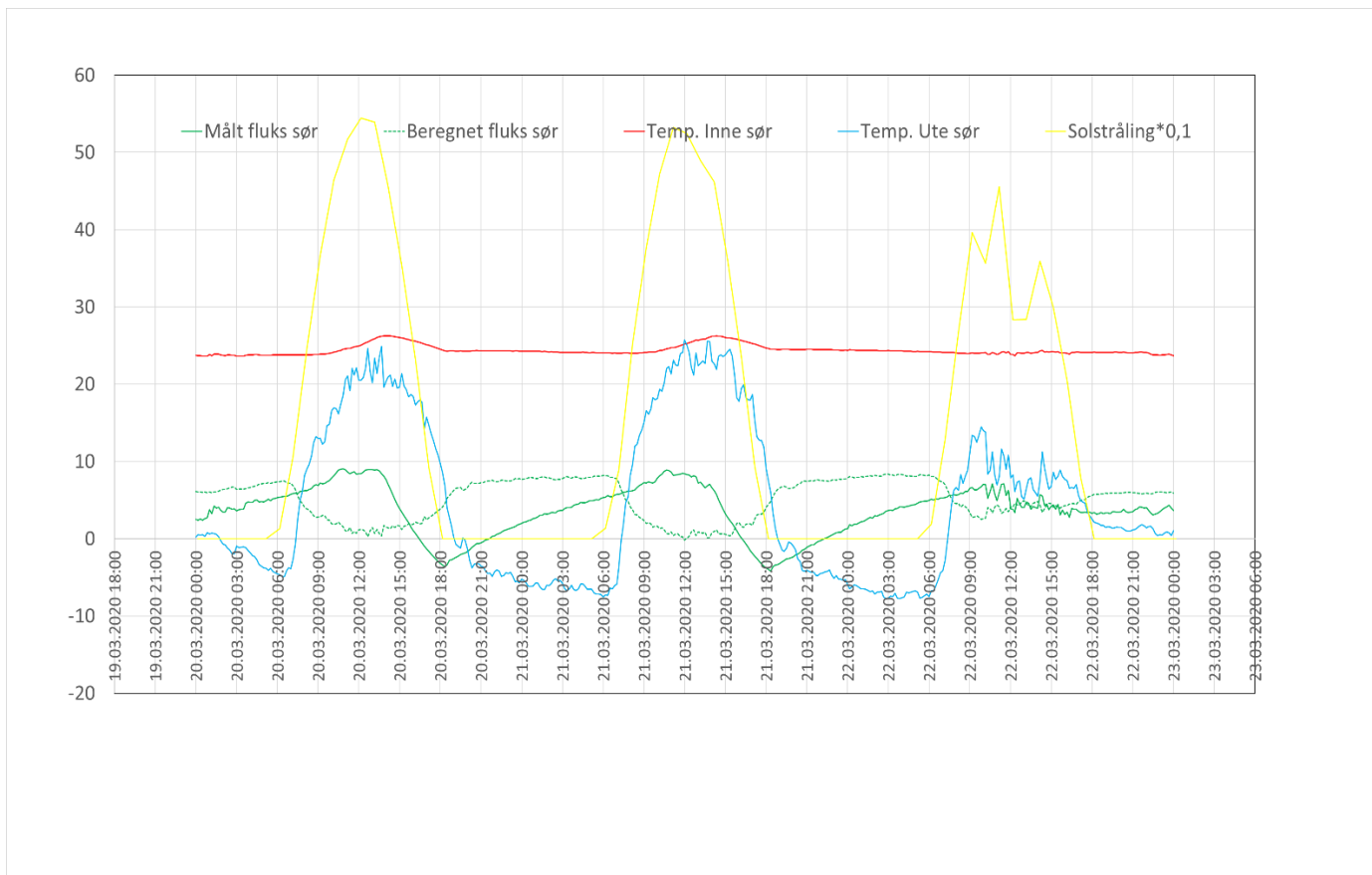
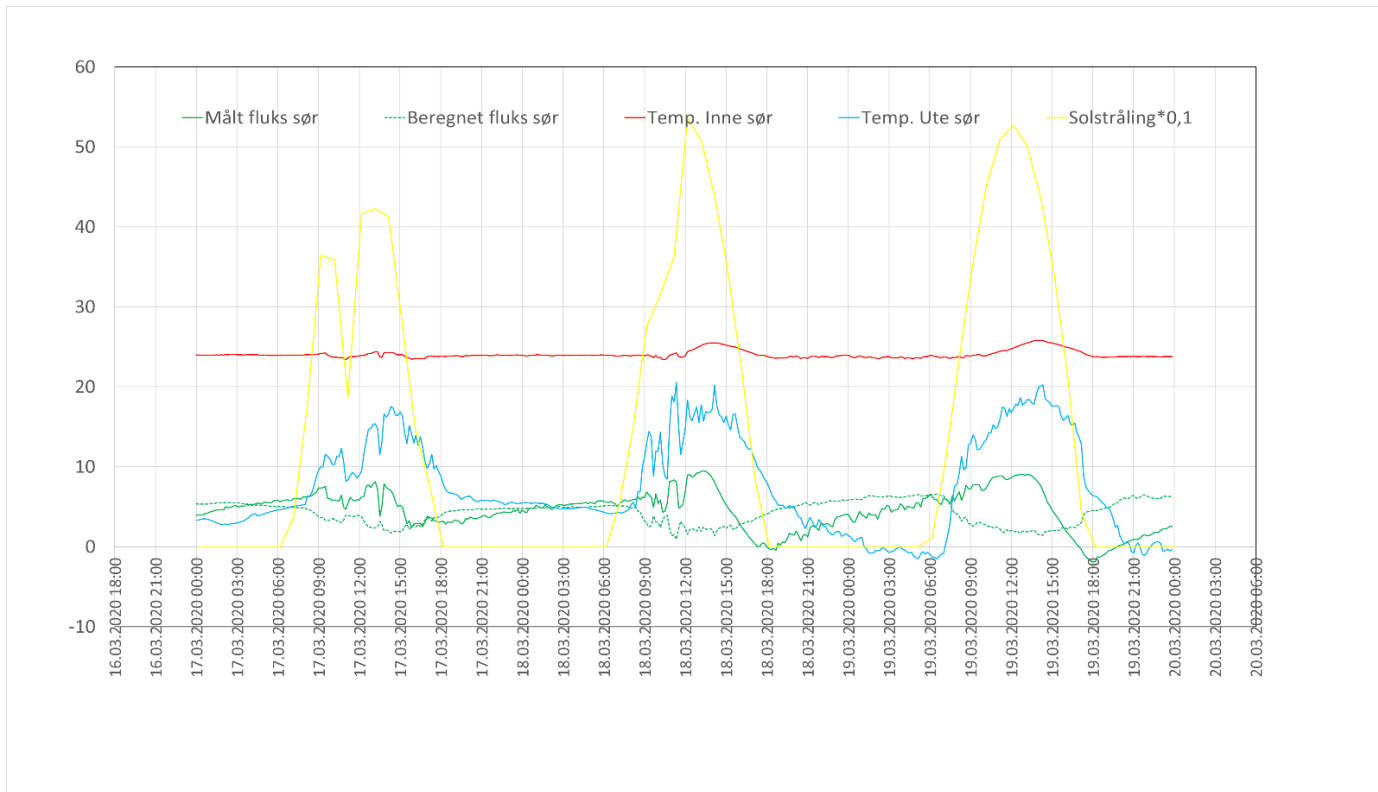


Figur 20 viser valgt periode for nordfasaden, altså en grafisk illustrasjon av grå rubrikk i Figur 18. I grafen inngår verdier for inne- og utetemperaturer, samt målt og beregnet varmekraft.



Figur 20: Figuren viser utvalgt periode for nordfasaden på modul A på Søråsfeltet. Grafene viser inne- og utetemperatur, samt målt og beregnet varmekraft (Jørgen Grue).

Verdiene for målt og beregnet varmekraft, samt inne- og utetemperatur inngår også i Figur 21 og 22, men verdiene er hentet fra sørfasaden. Da sørfasaden ble påvirket av solstråling på dager med fint vær, har en graf for solstråling blitt inkludert i figurene. Da målt U-verdi sank under hele måleperioden, ble det bestemt å studere et lengre tidsintervall for sørfasaden. Detaljer fremkommer i større grad dersom ett kortere tidsintervall illustreres grafisk. Dette er grunnen til at grafen for resultater hos sørfasaden er delt i to.



Figur 21: Figurene viser verdier for perioder målt på sørfasaden på modul A på Søråsfeltet. Den eneste forskjellene på de to grafene er datoene verdiene er hentet fra (Jørgen Grue).



## 9 Diskusjon

I dette kapitlet drøftes innhentet data, og resultatene diskuteres opp mot beskrevet teori. Grafene studeres og valgt målemetodikk vurderes. Videre er dataene knyttet opp mot problemstillingen for å besvare den på best mulig måte.

### 9.1 Håndtering av data

For å kunne håndtere dataene på best mulig måte var det sentralt å ha en standard som grunnlag for å kunne sette enkelte rammer for prosjektet. Som beskrevet i kapittel 7 ble metode beskrevet i BS ISO9869-1:2014 valgt. Denne standarden sammen med brukermanualene for TRSYS01 og HFP01 ble lagt til grunne for gjennomføringen av målingene, og utvelgelsen av data. Overnevnte standarder og manualer setter krav til måledata, og disse er fulgt i henhold til beskrivelse i kapittel 7. Å opprettholde en jevn varmemotstand iht. metoden krever at temperaturdifferansen mellom ytter- og innervegg er stor (se delkapittel 7.5). På bakgrunn av dette ble dataene fra første halvdel av måleperioden forkastet, da ingen ekstern varmekilde var påskrudd inne i modulen.

Videre ble det også bestemt å utelukke det døgnet (14.03.2020) hvor varmen ble påskrudd inne i modulen, fordi dette døgnet hadde lavest temperatur på natten gjennom hele perioden. Samtidig som at temperaturen ute sank, økte innetemperaturen som følge av påskrudd varmekilde, og varmefluksen økte selvsagt i stor grad. Dette skaper ekstremverdier i målingene sammenlignet med snittet, og blir derfor ikke en del av utvalgt periode. I tillegg anbefaler leverandør av TRSYS01 at varmefluksensorene plasseres på den siden av veggen der temperaturen er mest stabil, som betyr at data fra døgnet da ekstern varmekilde ble påskrudd ikke er i henhold til anbefalinger i brukermanualen.

De resterende døgnene ble behandlet i henhold til standarden, og som beskrevet i delkapittel 8.3 ble en tre- dagersperiode på nordfasaden på modulen målt til å være i henhold til krav uavhengig av spesifikk varmekapasitet. Sørveggen var derimot ikke i henhold til noen av kravene. Valgt periode blir derfor hele perioden fra ekstern varmekilde er påskrudd til måleperiodens slutt. For enklere å kunne analysere grafer ble enkelte intervaller trukket ut av perioden, hvor underliggende betingelser for valgt periode er nevnt i delkapittel 8.3.

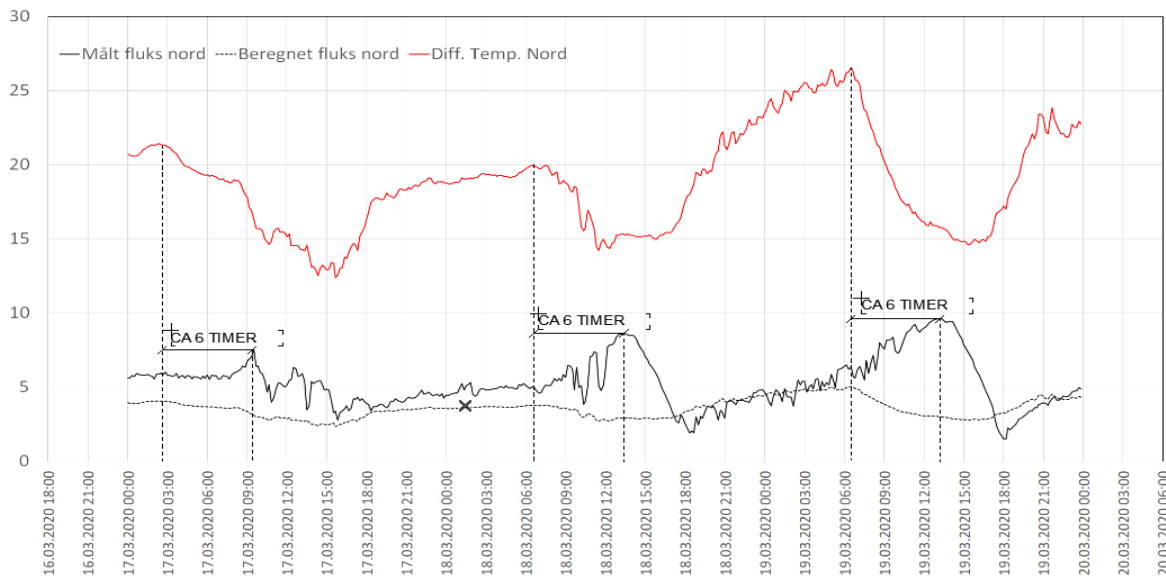
## 9.1 Utvalgt data

Utvalgt data er representert av målt og beregnet varmekonduktivitet, samt målt og beregnet U-verdi. U-verdiene har blitt vist i søylediagram for å tydeliggjøre døgnvariasjoner, der verdiene er gjennomsnittlige verdier for måledata per døgn. Samtlige døgn etter at den eksterne varmekilden ble påskrudd er tatt med i diagrammet for U-verdiene, men utvalgt periode er tydelig markert med en grå boks i Figur 18. Varmefluksen blir vist grafisk hvor hvert enkelt 10 minutters- intervall ble logget. Det er valgt å gjøre det slik for at den termiske tregheten ikke skal viskes bort som følge av for få tidsintervall.

### 9.1.1 Fasade nord

Figur 18 viser «målt U-verdi» og «beregnet U-verdi» for nordfasaden på modul A på Søråsfeltet. Beregnet U-verdi forblir lik under hele perioden fordi den er målt etter standardisert metode, med verdier for dimensjonerende varmekonduktivitet angitt i tabell i Norsk Standard. Ved at den er målt etter Formel 6.6, hvor U-verdien regnes som den inverse av varmemotstand, betyr det at denne formen for beregning av U-verdi i så måte er uavhengig av temperatur. Dette er med på å skape forskjeller i målt og beregnet U-verdi. Målt U-verdi varierer som følge av at denne U-verdien er beregnet med målt temperatur og varmekonduktivitet.

Verdier markert med grå rubrikk i Figur 18 er å klassifisere som god data, da de er i henhold til krav etter metodikken beskrevet i kapittel 7. De valgte døgnene tilfredsstiller begge krav, uavhengig av spesifikk varmekapasitet for veggen. Av diagrammet leses likevel en tydelig forskjell, og den reelle (den målte) U-verdien er vesentlig høyere enn beregnet U-verdi. I praksis betyr dette at veggen slipper gjennom mer varme enn først antatt.



Figur 22: Figuren over viser hvordan målt varmekrets er forskjøvet i forhold til beregnet varmekrets og differansetemperatur. Denne forskyvnng ser ut til å være lik for samtlige døgn i utvalgt periode (Jørgen Grue).

Figur 22 viser valgt periode for nordfasaden, med differansetemperatur mellom ute og inne, samt målt og beregnet fluks. Av grafen kommer det frem at «beregnet fluks nord», estimert ved hjelp av håndberegnet U-verdi iht. NS-EN ISO6946, har topp- og bunnpunkt direkte under topp- og bunnpunkt for grafen til differansetemperaturen. I praksis betyr dette at varmekretsen er lavest samtidig som differansetemperaturen er lavest. Dette indikerer at veggen ikke har noen termisk treghet, hvilket er feil basert på teori beskrevet i delkapittel 6.1.5, og en svakhet i metodikken benyttet for håndberegnet U-verdi.

Rettes fokuset mot «målt fluks nord», altså den varmekretsen som er logget av TRSYS01 og HFP01, kan man se en trend i sammenheng med differansetemperaturen. Topp- og bunnpunkter til grafen for målt fluks i Figur 18 viser at differansetemperaturen og tilhørende topp- og bunnpunkter ligger om lag 6 timer foran målt fluks. I tillegg er grafen for målt fluks sammenlignet med grafen for beregnet fluks mer preget av støy (Figur 22).

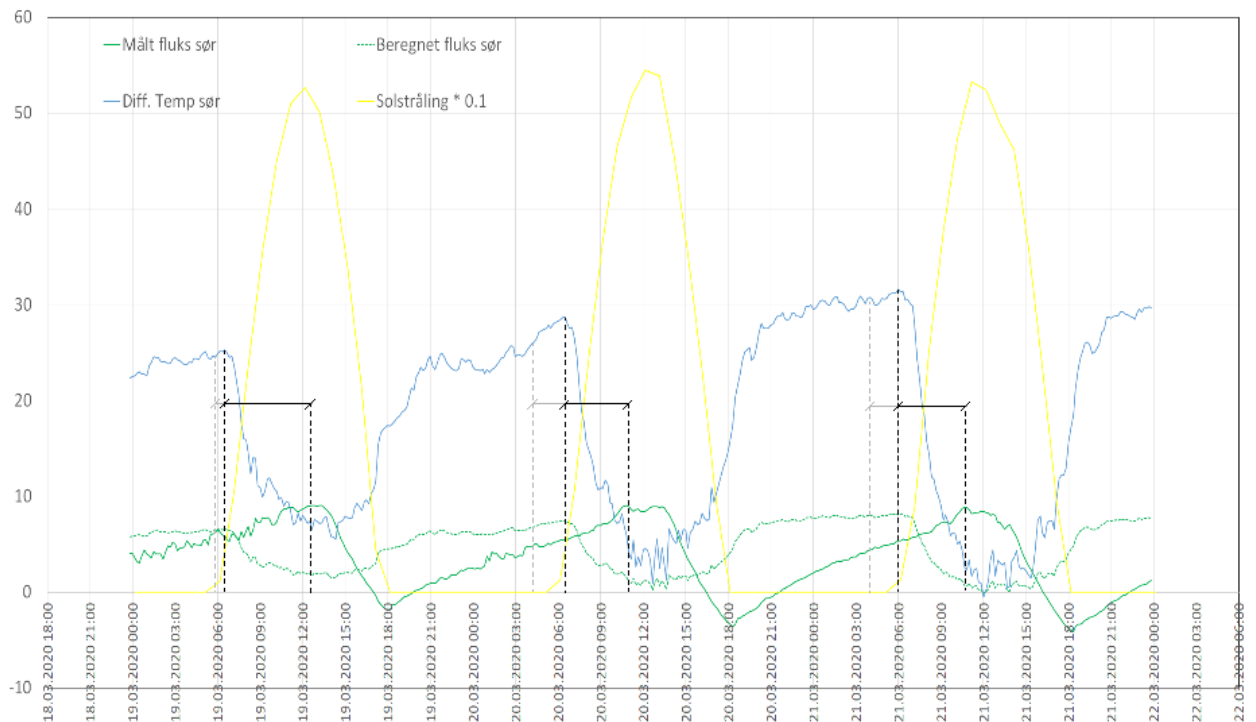
Mer støy i grafen for målt fluks i Figur 22 skyldes trolig at varmeovergangsmotstanden for håndberegnet U-verdi er standardisert og forblir uforandret gjennom hele måleperioden. I praksis er dette en verdi som forandrer seg i større eller mindre grad hele tiden som følge av at lufthastigheten ved overflaten på materialet, samt temperaturen stadig forandres.

Varmeovergangsmotstand er beskrevet i delkapittel 6.1.3, og standardiserte verdier for varmeovergangsmotstand kan leses i Tabell 1.

## 9.1.2 Fasade sør.

Figur 19 viser målt og beregnet U-verdi for fasade sør på modul A på Søråsfeltet.

Betingelsene for håndberegnet U-verdi er identiske som for nordfasaden, og er derfor forklarende for hvorfor beregnet U-verdi er identisk under hele perioden. Som beskrevet i delkapittel 8.3 er ikke disse målingene gode nok i henhold til krav gitt i BS-EN ISO9869-1:2014. Likevel ble det valgt å inkludere målingene gjort på sørfasaden, blant annet fordi dataene fra sørfasaden viser effekten av solstråling direkte på veggen.



Figur 23: Figuren viser sammenhengen mellom målt og beregnet varmefluks på sørfasaden. i tillegg er solstrålingen tatt med for å vise påvirkningen på differansetemperaturen. Stiplet linje markerer tregheten i veggen, hvor gråstiplet linje er tatt med for å sammenligne med nordfasaden (Jørgen Grue).

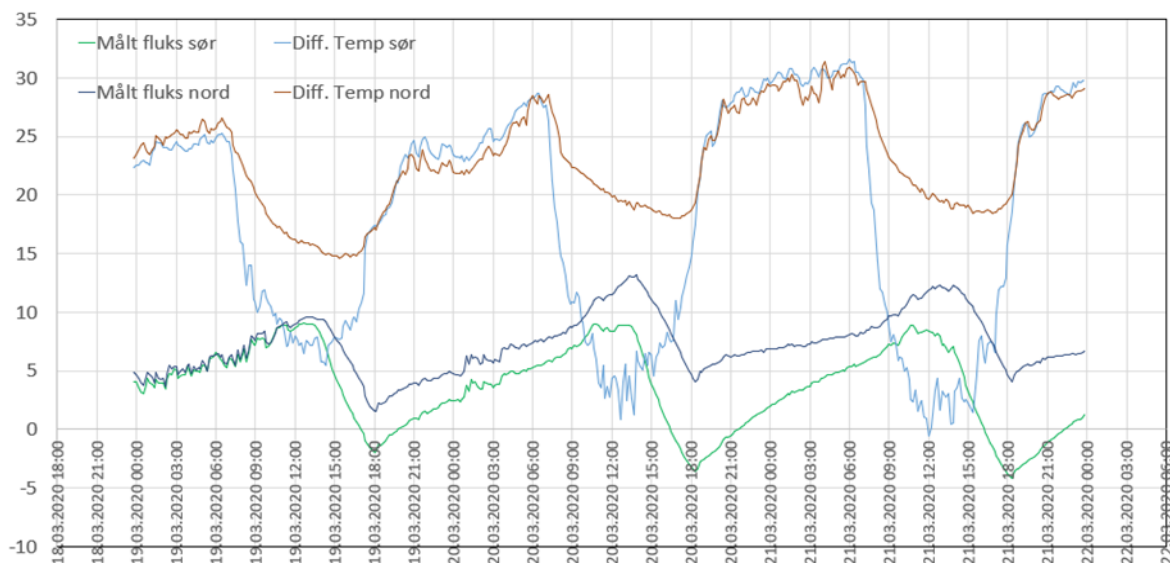
I Figur 23 er data fra 19.03.2020 tom. 21.03.2020 fra sørfasaden hentet ut. Graf for solstråling er også inkludert i Figur 23. Verdier for solstråling er hentet fra værstasjonen på Søråsfeltet. Disse verdiene er i realiteten mye høyere enn det som kommer frem i graf av Figur 23. For at grafen med tilhørende verdier skulle passe bedre inn med de resterende verdiene illustrert i figuren, ble det valgt å multiplisere verdier for solstråling med 0,1. Dette er med på å vise sammenhengen mellom solstråling og utetemperatur/differansetemperatur.

I Figur 23 kommer det også tydelig frem at beregnet fluks ikke tar hensyn til termisk treghet da bunn- og toppunkt for nevnt graf ligger direkte over eller under bunn- og toppunkter for differansetemperatur. Med andre ord er disse forholdene identiske som for hos nordfasaden. Tregheten til varmen er vist gjennom «målt varmefluks», og er markert med stiplet linje. Arealet mellom grå stiplet linje og svart stiplet linje representerer tidsforskjellen mellom bevegelse i varme på nord- og sørfasaden.

Det var forventet at den termiske tregheten til fasadene var forskjellig, med ulike temperaturforhold og mengde isolasjon. At variasjonen i treghet er større ved sørfasaden enn hos nordfasaden skyldes trolig at temperatursvingningene hos sydfasaden er mye større sammenlignet med nordfasaden, og at differansetemperaturen i snitt er lavere på sørfasaden.

## 9.2 Sammenligning av data

Forskjellene på nord- og sørfasaden på modul A på Søråsfeltet er få. De mest sentrale er at veggene vendt mot nord har 150mm isolasjon til forskjell fra sydfasaden som har 100mm. Den andre forskjellen er at sydfasaden under store deler av året er utsatt for sollys. Trolig er førstnevnte forskjell et resultat av sistnevnte. I praksis betyr det at det er disse forskjellene som skaper ulikheter i innhentede data. Forskjeller mellom temperaturdifferanse og målt fluks for begge fasadene er vist i Figur 24.



Figur 24: Grafen over viser forskjell i målt varmefluks og differansetemperatur på nord- og sørfasaden (Jørgen Grue).



### 9.2.1 Virkningen av termisk treghet.

Formel 6.8 er beskrevet i delkapittel 6.1.5 og forklarer hvilke tekniske egenskaper som skal ligge til grunne for at materialer skal kunne lagre varme. Formelen indikerer at termisk treghet varierer, i likhet med varmefluks, med differansetemperaturen til aktuelt måleobjekt.

Isolasjonsmaterialet i veggene på modul A på Søråsfeltet er dårlig egnet for termisk lagring, med sin lave densitet og dårlige varmeledningsevne (se delkapittel 6.3 og Tabell 2). I praksis betyr dette at isolasjonsmaterialet transporterer minimale mengder varme, slik at temperaturdifferansen på hver side av isolasjonsmaterialet blir stor.

Figur 24 viser målt fluks for både nord- og sørfasaden, samt tilhørende temperaturforskjeller. Grafene for temperaturdifferanse i Figur 24 er forklarende for hvorfor mengde isolasjon på nord og sørfasaden er ulik. Dette skyldes at gjennomsnittlig differansetemperatur på nordsiden er mye høyere enn ved sørsiden, hvilket skyldes sollyset. Høyere differansetemperaturer stiller strengere krav til termiske egenskaper hos veggen, og trolig er resultatet av dette fenomenet de ekstra 50mm med isolasjon.

Som beskrevet i delkapittel 6.1.5, og som kan tolkes av Formel 6.8 er varmefluksen avhengig av denne differansetemperaturen, der bevegelsen til varmen styres av blant annet denne temperaturforskjellen. Dette er beskrivende for hvorfor målt fluks fra nordfasaden nesten til enhver tid befinner seg over målt fluks på sørfasaden. Med jevnt over høy temperaturdifferanse, uten spesielt store sprang i temperaturforskjell vil varmetapet forbli relativt stabilt. Dermed vil topp- og bunnpunkt for målt fluks endres ettersom i hvor stor grad temperaturdifferansen mellom inne- og ytterveggen endrer seg.

I graf for målt fluks på sørfasaden i Figur 24 bemerkes det et større sprang i differansetemperatur ved at grafen for målt fluks har større avstand mellom topp- og bunnpunkt. Dette er beskrivende for en differansetemperatur som er mye mer vekslende sammenlignet med nordfasaden. Grunnen til en mer vekslende differansetemperatur på ved sørfasaden er trolig at sørfasaden har mindre isolasjon. Dette betyr at en eventuell påvirkning fra sola vil ha større utslag her enn det det ville hatt med et tykkere isolasjonssjikt.

Nettopp sammensetningen av mengde isolasjon og mengde sollys gjør at det er interessant å se på termisk treghet og hvordan denne påvirkes av temperaturforskjeller. I Figur 21 og Figur 24 kommer det tydelig frem at «målt fluks» for sørfasaden til tider befinner seg under x-aksen, hvilket betyr at varmen beveger seg inn i rommet. Dette skjer selv om målt

utetemperatur ikke er høyere enn målt innetemperatur. Av Figur 19 kommer det fram at målt U-verdi er lavere enn beregnet U-verdi under siste måling. Treets varmetekniske egenskaper, beskrevet i delkapittel 6.2.2 og vist i Tabell 2, gjør at overskuddsvarmen beveger seg inn i bygget etter at differansetemperaturen har vært på sitt laveste. Dette betyr at varmeoverføringen skjer ved et tidspunkt hvor det er behov for tilført varme inne i modulen, eller ved et tidspunkt hvor det finnes overskudd av varme. Toppunktet for målt varmefluks ligger under bunnpunktet for differansetemperatur, hvilket betyr at veggen kvitter seg med varmen da behovet for tilført varme innendørs er på sitt laveste. I praksis betyr dette at kjølebehovet dempes av veggen selv som en direkte følge av termisk treghet.

### 9.3 Alternativ målemetodikk

I brukermanualen til TRSYS01 er det beskrevet ulike metoder for måling av U-verdi i henhold til ISO9869. Alternativt kan det istedenfor å måle omgivelsestemperatur slik det er gjort i denne oppgaven, måle overflatetemperaturen til aktuell konstruksjon. Ulempen med denne metoden er at standardiserte verdier for varmeovergangsmotstander må legges til da disse ikke er en del av målingen. Dette danner grunnlag for en feilkilde da varmeovergangsmotstand i praksis varierer hele tiden som følge av vær og vind. Fordeler med denne metodikken er at enkelte utfordringer knyttet til plassering av termurmåleren utgår. I manualen til TRSYS01 er «hot box» også nevnt, men dette er en metode hvor målingene må foregå i laboratorium, og utgår dermed som en mulig målemetodikk da hensikten er å måle konstruksjon i felt.

### 9.4 Feilkilder

Det er vanskelig å si om vær og vind i seg selv er en feilkilde, og i hvor stor grad. Utvendig måleutstyr ble skjermet for direkte sollys, samt regn og vann. Det er usikkert hvorvidt vind påvirket dataene da det ikke foreligger et grunnlag for sammenligning i form av tidligere logget data. I tillegg var det ønskelig at sollys skulle påvirke veggen på sørfasaden, men ikke termurmåleren direkte. Begge overnevnte faktorer, både sollys og vind, bidrar trolig i større eller mindre grad til å forandre temperaturer, som igjen vil utgjøre forskjeller i målt og

beregnet fluks. I tillegg kan varmeovergangsmotstander avvike fra standardiserte verdier som følge av påvirkning fra vær og vind.

Luftrom i isolasjonssjiktet neglisjeres ved håndberegnet U-verdi, men eventuelle feil knyttet til luftrom kan ha blitt registrert av varmestrømsmålerne, og gitt utslag i form av økt forskjell på målt og beregnet U-verdi. Dette forblir uvisst da ingen spesifikke resultater knyttet til målingene ligger til grunn for å bevise en eventuell feil. I tillegg kan vindspærren bidrar til utvendig temperaturendring i større grad enn antatt, med sin mørke overflate (se delkapittel 6.5). Likevel forventes det at denne mulige feilkilden elimineres av valgt målemetodikk da utvendig temperatur ikke blir målt direkte av overflaten. Videre kan andre mulige feilkilder knyttet til varme- og fukttekniske egenskaper de ulike materialene beskrevet i kapittel 6 foreligge.

Måleutstyret er i seg selv en mulig feilkilde, hvilket er nevnt i delkapittel 7.4. Dette gjelder blant annet at eier av TRSYS01 ikke vet tidspunkt for kalibrering. Det oppstår dermed usikkerhet til måledata da anbefalinger fra brukemanualen til TRSYS01 anbefaler ny kalibrering hver 24 måned. Videre kan andre feil foreligge da verken veileder eller eier i forkant hadde kjennskap til måleutstyret. Det er derfor vanskelig å oppdage eventuelle feil knyttet direkte til selve utstyret.

Veggen i seg selv kan også være en mulig feilkilde. Sprekker i veggen kan påvirke målingene ved at tverrsnittet av veggen reduseres. I praksis betyr dette at fluksen måles gjennom et mindre tverrsnitt enn antatt, og varmetekniske egenskaper for luft vil inkluderes da luft fyller eventuelle sprekker (se delkapittel 7.2). I tillegg kan kvist påvirke målingene ved at kvist har høyere større densitet enn vanlig trevirke og dermed har bedre varmeledningsevne (se delkapittel 6.2.1).

Øvrig feilkilde er nevnt i delkapittel 7.5, men denne feilkilden ble utbedret før varmen ble påskrudd inne i modulen, og tilhørende data har dermed blitt forkastet som forklart i delkapittel 9.1. Feilkilder knyttet til valgt standard og tilhørende avvik er bemerket i delkapittel 7.4.



## 10 Konklusjon

Resultatene i denne oppgaven viser at målingene av U-verdier fra nordfasaden er betydelig høyere enn beregnede U-verdier av samme fasade. I praksis betyr dette at veggen har dårligere termiske egenskaper enn antatt, da høye U-verdier betyr at veggen slipper gjennom større mengder varmeenergi. Av målingene leses en termisk treghet ved at topp- og bunnpunkter i den målte fluksen er forskjøvet med om lag 6 timer i sammenlignet med den beregnede fluksen. Denne termiske tregheten er med på å dempe oppvarmings- og kjølebehovet, ved at veggen lekker mer varme når temperaturdifferansen blir liten, og i større grad holder på varmen når temperaturdifferansen blir stor.

Det er tydelig at målt fluks med varmefluksmålere og beregnet fluks i henhold til NS-EN ISO6946 gir forskjellige verdier. Termisk treghet blir ikke en del av regnestykket i standardisert håndberegnet metode. Dette er vist gjennom målinger på sørfasaden ved at den termiske tregheten bidrar med tilført varme dersom de rette forholdene ligger til grunn. Da termisk treghet ikke medregnes i metodikk beskrevet i NS-EN ISO6946 er ikke tilført varme en mulig faktor, hvilket betyr at U-verdien beregnes kun på bakgrunn av varmetap fra veggen og ut til omgivelsene. Termisk treghet vil føre til at netto varmetap reduseres dersom differansetemperaturen varierer nok til at varmen kan gå fra veggen og inn i bygget. Disse forholdene har vært til stede for sørfasaden i utvalgt periode, og som vist i søylediagram for målt mot beregnet U-verdi for sørfasaden (Figur 19) har snittet for målt U-verdi beveget seg under håndberegnet U-verdi.

Siden valgt målemetodikk i praksis ikke er ment for konstruksjoner utsatt for sollys, og det er mange feilkilder knyttet opp mot målingene, blir det feil å konkludere med at krav til U-verdi kan reduseres som følge av termisk treghet. Likevel viser resultatene at termiske treghet utgjør en forskjell på selve målingene, da standardisert målemetodikk for U-verdier ikke tar direkte hensyn til denne faktoren.

### 10.1 Videre arbeid

Det ble bemerket undervis i oppgaven at det er vanskelig å sammenligne nord- og sørfasaden på Modul A på Søråsfeltet fordi isolasjonstykkelsen ikke var identisk hos i veggene. Det blir derfor vanskelig å estimere i hvilken grad forskjeller på de ulike fasadene skyldes været eller

mengden isolasjon. Ved videre arbeid vil det vært interessant å utføre et nytt forsøk, med vegger med identisk isolasjonstykkelse. På denne måten blir det enklere å se konkret betydning av ytre faktorer som vær, kontra indre faktorer som mengde isolasjon.

Det ville også vært interessant å gjennomføre identiske målinger, men over en periode på eksempelvis et år. På denne måten kan variasjon i termisk treghet studeres opp mot ulike differansetemperaturer gjennom ulike årstider.

I tillegg er sørfasaden utsatt for sollyis over store deler av måleperioden. Treverk som et hygrotermisk materiale vil ta opp og avgi fuktighet i takt med omgivelsene, og med varierende vær og mengde solstråling vil også fuktinnholdet i treverket variere i stor grad. Det ville derfor vært interessant å se i hvor stor grad fuktighet i treverket påvirker den termiske tregheten i veggen, gitt at veggen til tider er utsatt for sollyis.



## 11 Kilder

- Asphaug, S. K., Time, B., Thue, J. V., Geving, S., Gustavsen, A., Mathisen, H. M. & Uvsløkk, S. (2015). *Kunnskapsstatus- Fuktbufring i materialer og påvirkning på energibehov*. ZEB Project report 22- 2015. Tilgjengelig fra: [https://www.sintefbok.no/book/index/1047/kunnskapsstatus\\_fuktbufring\\_i\\_materialer\\_og\\_paavirkning\\_paa\\_energiebehov](https://www.sintefbok.no/book/index/1047/kunnskapsstatus_fuktbufring_i_materialer_og_paavirkning_paa_energiebehov).
- Aurlien, T. (2020). *Intervju/konsultasjon med rådgiver og professor Tormod Aurlien ved NMBU*. Ås (11.02.2020).
- Brandner, R. (2013). *Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report*. Graz.
- Bøhmer, E. & Aarnes, H. (2017). tre- plante. I: *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/tre\\_-\\_plante#-Struktur](https://snl.no/tre_-_plante#-Struktur) (lest 11.03.2020).
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og Beredskap, D. (u.å). *Fakta om CE-merking*. Tilgjengelig fra: <https://www.dsb.no/lover/produkter-og-forbrukertjenester/artikler/fakta-om-ce-merking/>.
- Edvardsen, K. I. & Ramstad, T. Ø. (2015). *Håndbok 5 Trehus*. 5. utg.: SINTEF akademisk forlag.
- Egeland, E. S. (2009). molar absorptivitet. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/molar\\_absorptivitet](https://snl.no/molar_absorptivitet) (lest 13.05.2020).
- Holtmark, T. (2013). svart. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/svart> (lest 13.05.2020).
- Hukseflux Thermal Sensors. (2016). *USER MANUAL HFP01 & HFP03 (v1721)*. Tilgjengelig fra: [https://www.hukseflux.com/uploads/product-documents/HFP01\\_HFP03\\_manual\\_v1721.pdf](https://www.hukseflux.com/uploads/product-documents/HFP01_HFP03_manual_v1721.pdf) (lest 15.02.2020).
- Hukseflux Thermal Sensors. (2020). *USER MANUAL TRSYS01*. Tilgjengelig fra: [https://www.hukseflux.com/uploads/product-documents/TRSYS01\\_manual\\_v1721\\_0.pdf](https://www.hukseflux.com/uploads/product-documents/TRSYS01_manual_v1721_0.pdf) (lest 17.02.2020).
- Kosmina, L. (2016). *In-situ measurement of U-value*. Tilgjengelig fra: <https://www.bre.co.uk/filelibrary/In-situ-measurement-of-thermal-resistance-and-thermal-transmittance-FINAL.pdf>.
- Mestad, G. O., Aurlien, T. & Darvishi, J. (2019). *Feltmålt varmefluks gjennom krysslimt tre*: Norwegian University of Life Sciences, Ås.



- Ormestad, H. & Pedersen, B. (2019). varmeledning. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmeledning> (lest 29.05.2020).
- Pedersen, B. (2015). Fourierloven. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Fourierloven> (lest 0.4.05.2020).
- Pedersen, B. (2017). varmestråling. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmestråling> (lest 29.05.2020.).
- Pedersen, B. (2018a). Termisk konduktivitet. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/termisk\\_konduktivitet](https://snl.no/termisk_konduktivitet) (lest 13.05.2020).
- Pedersen, B. (2018b). Varmekapasitet. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmekapasitet> (lest 30.04.2020).
- Rosvold, K. A. (2019). solkraftverk. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/solkraftverk> (lest 13.05.2020).
- SINTEF Byggforsk. (2003a). *Materialer til luft- og dampetting (573.121)*.
- SINTEF Byggforsk. (2003b). *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer (471.010)*
- SINTEF Byggforsk. (2004). *Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper (573.244)*.
- SINTEF Byggforsk. (2008). *yttervegger over terreng. Egenskaper og konstruksjonsprinsipper. Krav og anbefalinger (523.002)*.
- SINTEF Byggforsk. (2009). *Etasjeskillere i massivtre (522.891)*.
- SINTEF Byggforsk. (2015). *Trevirke. Treslag og materialeegenskaper (571.523)*.
- SINTEF Byggforsk. (2018). *Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946 (471.008)*.
- Skari, I. T. (2016). *Reduksjon av energibruk i bygninger ved aktiv bruk av bygningens termiske masser og av et intelligent IKT-verktøy for tilbakemelding til bruker*. Masteroppgave. Trondheim: NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2405179> (lest 04.05.2020).
- Skogstad, H. B., Gullbrekken, L. & Uvsløkk, S. (2011). *Massivtre- Luftgjennomgang og behov for sperresjikt*. SINTEF Byggforsk.
- SNL. (2019). tennar. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/tennar> (lest 28.05.2020).
- Sunding, P. (2019). Skog. I: *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/skog> (lest 11.03.2020).



## 12 Vedlegg

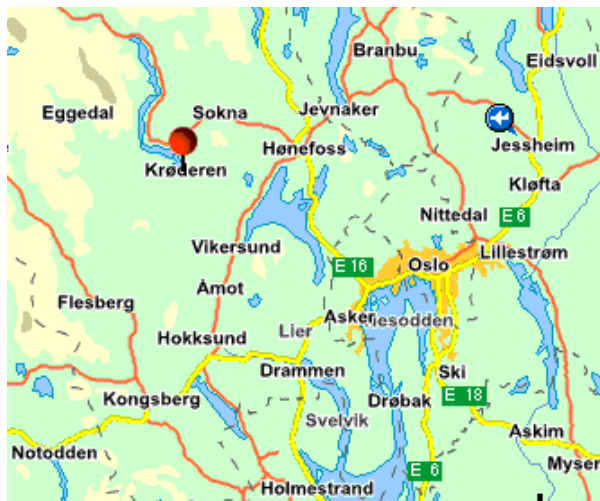
- Vedlegg A består av et Word-dokument, hentet fra tilsendt fil sendt av veileder Tormod Aurlien. Ingen endringer er gjort på innholdet.
- Vedlegg B består av et Word-dokument, hentet fra tilsendt fil sendt av Signe Kroken. Ingen endringer er gjort på innholdet

### 12.1 Vedlegg A- Beskrivelse av modul A

Beskrivelse av prøvehuset

Prøvehuset er bygget hos Moelven MassivTre as på Krøderen, ca. 100 km fra Oslo.

Prøvehuset er bygget med krysslimte massivtreelementer og består av to "moduler". Modulene er plassert over hverandre. Det er montert stålbraketter på veggene. Mellom stålbrakettene plasseres hydrauliske jekker. På denne måten kan den øvre modulen heises opp og "frikobles" fra modulen under.





*Foto: Jarle Aarstad, Treteknisk.*

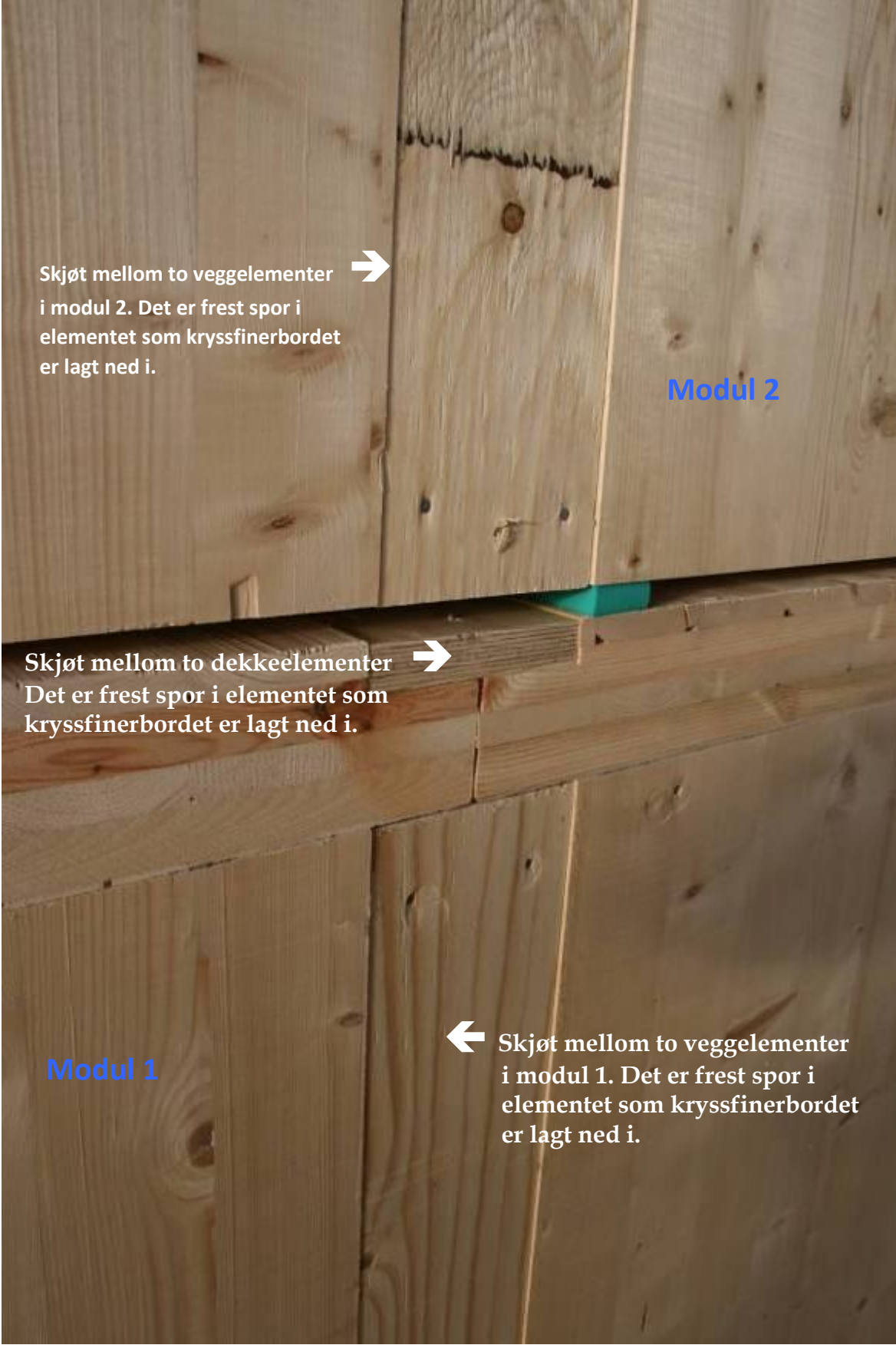
## Tekniske data

Utvendige mål:	Lengde: 7.200 mm
	Bredde: 3.800 mm
Innvendige mål:	Lengde: 7.000 mm
	Bredde: 3.600 mm
	Høyde: 2.480 mm (modul 1, fra betong til tak)
	Høyde: 2.180 mm (modul 2, fra parkett til tak)
Innvendig areal:	25,2 m <sup>2</sup>
Innvendig volum i modul 1:	62,50 m <sup>3</sup>
Innvendig volum i modul 2:	54,95 m <sup>3</sup>
Vegger:	Tykkelse 100 mm, krysslimte elementer, gran
Etasjeskille:	Tykkelse 120 mm, krysslimte elementer, gran
Tak:	Tykkelse 120 mm, krysslimte elementer, gran

Prøvehuset er plassert under tak, og er derfor ikke overflatebehandlet utvendig eller beskyttet med kledning. Det er heller ikke laget tak på prøvehuset. Prøve-huset er forankret til betongplaten med bunnsvill. Bunnsvill nr. 2 er justert i vater, og veggelementene i modul 1 er skrudd/montert til denne. Veggelementene er montert stående og festet sammen med kryssfinerplate på utsiden. Mellom kryss-finerplaten og veggelementet er det lagt på to fugestrenger. Etasjeskillet, dvs. taket til modul 1, er festet direkte til veggene i modul 1. Det er også her lagt på to fuge-strenger istedenfor å bruke tettepakninger. Taket er montert/skrudd direkte i toppen av veggen til modul 2. Det er også her lagt to fugestrenger på toppen av veggelementet.



Foto: Jarle Aarstad, Treteknisk.



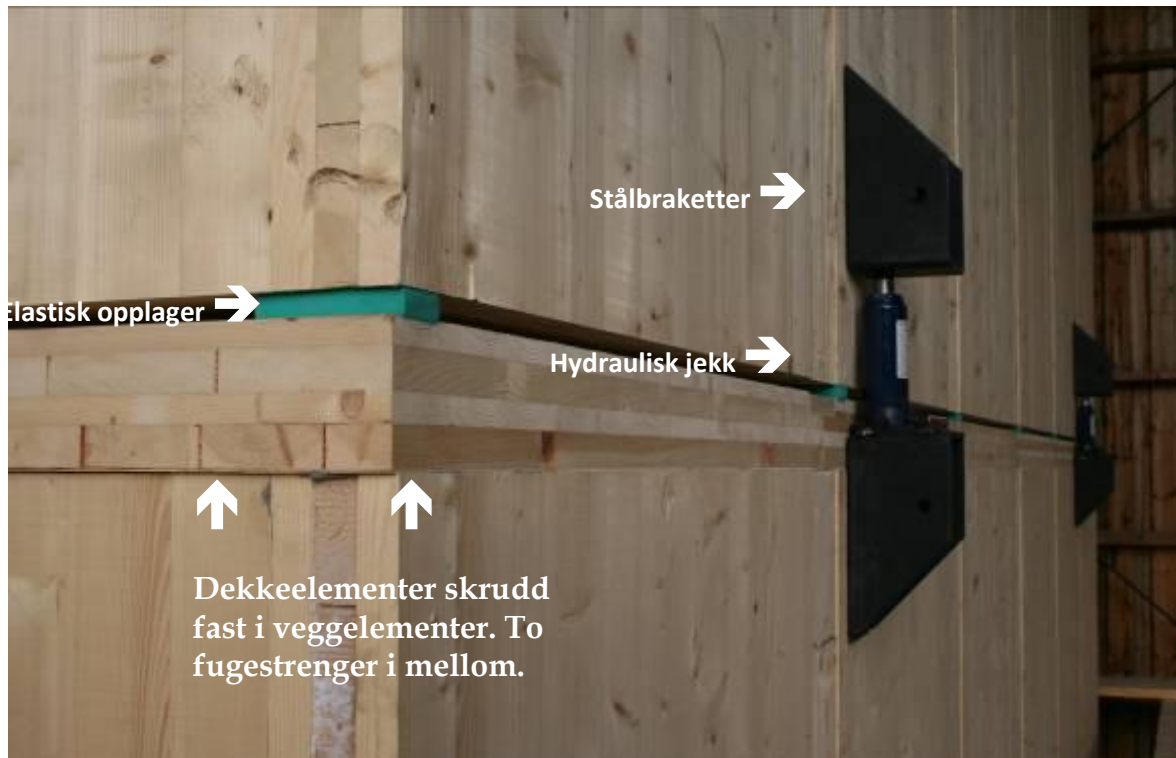
Skjøt mellom to veggelementer  
i modul 2. Det er frest spor i  
elementet som kryssfinerbordet  
er lagt ned i.

Modul 2

Skjøt mellom to dekkelementer →  
Det er frest spor i elementet som  
kryssfinerbordet er lagt ned i.

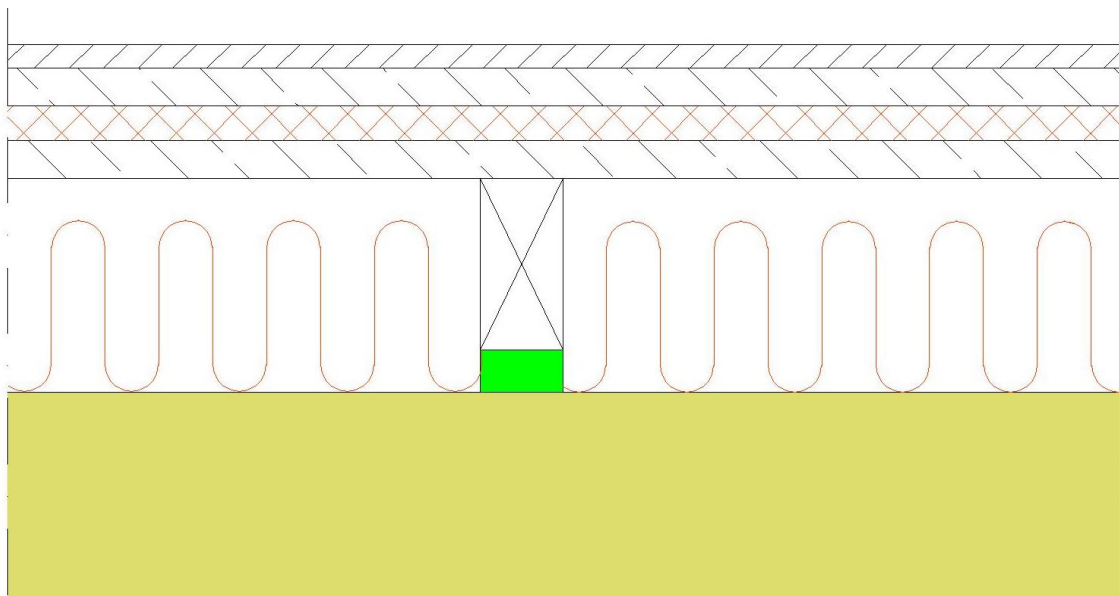
Modul 1

← Skjøt mellom to veggelementer  
i modul 1. Det er frest spor i  
elementet som kryssfinerbordet  
er lagt ned i.



### Tilfarergulv

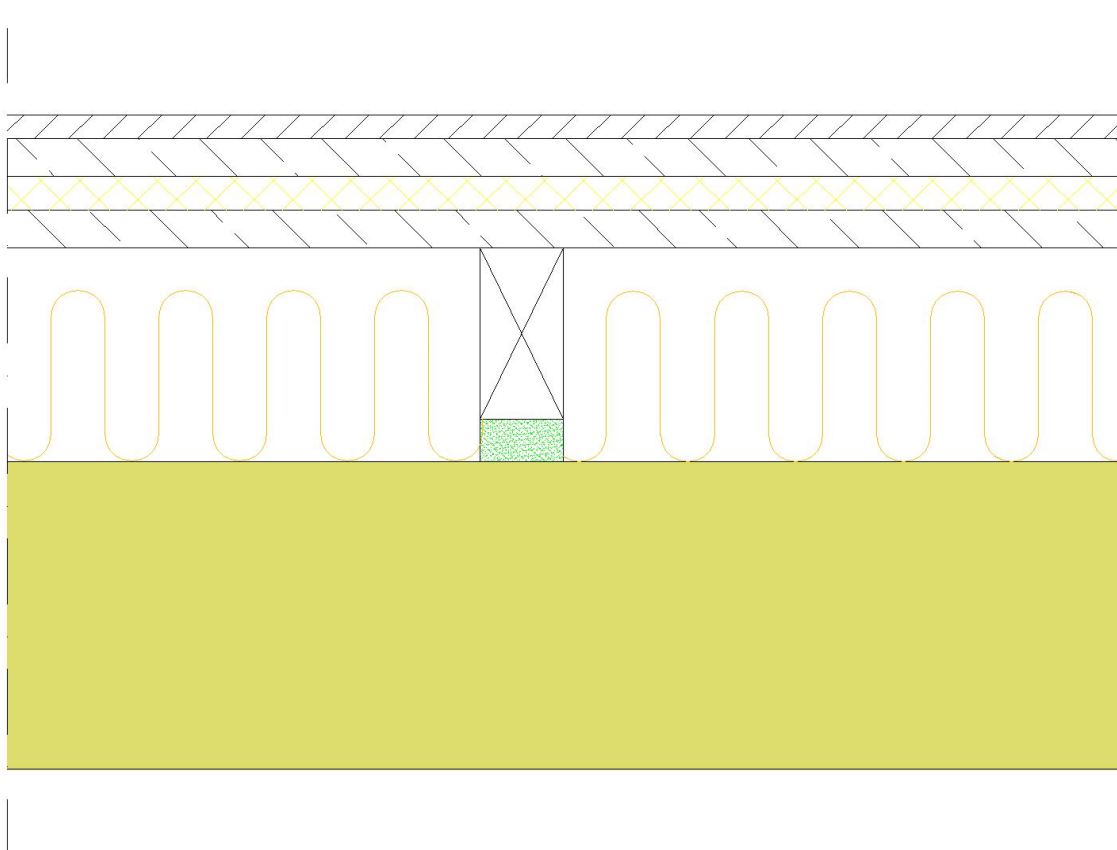
Inne i modul 2 er det bygget et lett tilfarer gulv oppå etasjeskille i massivtre. Figur 25 viser gulvets oppbygging.



- 14 mm Parkett, eik
- 22 mm Gulvsponplate
- 20 mm Trinnlydplate, Rockwool "trinnlydplate med duk"
- 22 mm Gulvsponplate
- 98 mm Tilfarer (48 x 98 mm, hulrom mellom tilfarere er fylt med Glava 36)
- 25 mm Sylodynkløsser, grønne (H 25 mm/B 50 mm/L 150 mm)
- 120 mm Massivtreelement

Figur 25. Oppbygging av tilfarergulv.

Dette tilfarergulvet ble valgt fordi man tidligere har målt en nesten identisk gulvkonstruksjon i lydlaboratorium ved SINTEF Byggforsk i Oslo. I dette lydlaboratoriet er det kun selve gulvkonstruksjonen som måles, uten flankebidrag fra laboratorieveggen. Figur 26 viser gulvkonstruksjonens oppbygging.



- 14 mm Parkett
- 22 mm Gulvsponplate
- 20 mm Glava trinnlydplate
- 22 mm Gulvsponplate (slisset)
- 100 mm Glava 36
- 25 mm Sylomer, grønn (H 25 mm/B 40 mm/L 450 mm)
- 98 mm Tilfarer
- 180 mm Massivtreelement

Figur 26. Oppbygging av tilfarergulv i lydlaboratorium.

Laboratoriemålte verdier:

Luftlydisolasjon	R <sub>w</sub>	60 dB	C <sub>50-5000</sub>	-1
Trinnlydisolasjon	L <sub>n,w</sub>	49 dB	C <sub>1,50-2500</sub>	3

Forskjellene mellom tilfarergulvet i prøvehuset og tilfarergulvet i lydlaboratoriet er:

- Trinnlydplate i Glava istedenfor Rockwool.
- 22 mm gulvsponplate slisset istedenfor 22 mm gulvsponplate uslisset.
- Etasjeskilleren i prøvehuset er 120 mm mot 180 mm i lydlaboratoriet.



## 12.2 Vedlegg B- Beskrivelse av værstasjonen

Meteorologiske data for Ås

*Forklaring til tabellene:*

Loggesystemet foretar en avlesning av alle variable hvert 10. sekund. Middelerdien for hvert 10. minutt lagres i databasen.

Lufttemperaturen og luftfuktighet er målt i standard meteorologisk hytte 2 m over bakken.

Jordtemperaturen er målt under grasplen. Vindhastigheten og vindretning er målt i 10m høyde. Kolonnen merket "max" m/s viser den maksimale vindhastigheten som er målt i løpet av døgnet.

I strålingstabellen er angitt døgnsommer ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) av global stråling, diffus stråling og strålingsbalanse (=nettostråling), samt globalstrålingens spektrale fordeling. Grensene er satt slik at uv" refererer til bølgeintervallet 295-385 nm, "blå" til intervallet 385-495 nm, "grønn" til intervallet 495-630 nm, "rød" til intervallet 630-695 nm, og "irød" til intervallet 695-2800 nm. PAR-stråling (fotosyntetisk aktiv stråling) er angitt i  $\text{E}/\text{m}^2$  (Einstein pr. kvadratmeter) summert over døgnet, der  $\text{E}/\text{m}^2 = 6.02 \times 10^{23}$  fotoner/ $\text{m}^2$ . Albedo er forholdet mellom reflektert og innkommende globalstråling og måles over en grasplen. Kolonnen merket "jordvarmefflux" viser netto varmemengde ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) som pr. døgn transporteres i det øverste jordsjikt, målt med to varmeffluxplater under en grasplen i 2 cm dybde. Positive tall betyr at jorda mottar energi, negative tall at energi tapes.

Forklaring til kolumnenavn

LT ( ° C )	: Lufttemperatur (mid)
Ltmin ( ° C )	: Lufttemperatur (min)
Ltmax ( ° C )	: Lufttemperatur (max)
RF ( % )	: Luftfuktighet i %
Rfman	: Manuell fukt
NB	: Nedbør (mm)
FD2	: Fordampning
Fdman	: Manuell fordampning
JT2.. ( ° C )	: Jordtemperatur i 2 cm dybde osv.

FD (mm) : Fordampning  
 LP (mbar) : Lufttrykk  
 Lpman : Manuell lufttrykk  
 VH (m/s ) : Vindhastighet  
 VR ( ° ) : Vindretning  
 SD : Snødybde

**STRÅLING :**

GLOBAL :	Global stråling	Rådata: W/m <sup>2</sup>	Time: W/m <sup>2</sup>	Døgn: MJ/m <sup>2</sup>	Måned:
MJ/m <sup>2</sup>					
RGLOB :	Reflektert globalstråling	Rådata: W/m <sup>2</sup>	Time: W/m <sup>2</sup>	Døgn: MJ/m <sup>2</sup>	Måned:
BAL :	Strålings balanse	Rådata: W/m <sup>2</sup>	Time: W/m <sup>2</sup>	Døgn: MJ/m <sup>2</sup>	
Måned:					
DIFF :	Diffus stråling	Rådata: W/m <sup>2</sup>	Time: W/m <sup>2</sup>	Døgn: MJ/m <sup>2</sup>	Måned:
PAR :	Foto syntetisk aktiv stråling	Rådata: mE/m <sup>2</sup>	Time: mE/m <sup>2</sup>	Døgn: E/m <sup>2</sup>	Måned:

Global strålingens spektrale fordeling:

GG14 :	Grønn ( 495 - 2800 nm )	Rådata: W/m <sup>2</sup>	Time: W/m <sup>2</sup>	Døgn: MJ/m <sup>2</sup>	
Måned:					
RG2 :	Rød ( 630 - 2800 nm )	Rådata: W/m <sup>2</sup>	Time: W/m <sup>2</sup>	Døgn: MJ/m <sup>2</sup>	Måned:
RG8 :	Irød ( 695 - 2800 nm )	Rådata: W/m <sup>2</sup>	Time: W/m <sup>2</sup>	Døgn: MJ/m <sup>2</sup>	Måned:
UV :	UV ( 295 - 385 nm )	Rådata: W/m <sup>2</sup>	Time: W/m <sup>2</sup>	Døgn: MJ/m <sup>2</sup>	Måned:
Alb :	Albedo	Albedo er forholdet mellom reflektert og			
innkommende		globalstråling og måles over en grasplen.			

I time, døgn og månedstabellen er Synlig lys, RG8 og UV angitt i % av globalstrålingen.  
 Fra 2014 er GG14, RG2 utfaset og UV, synlig og IR angitt i % av globalstrålingen.

Døgntabellen: Når innstrålingen er lav er usikkerhet i spektralstrålingen stor.

Kolonner rådata: 88003 og 88004 er varme flux Rådata: W/m<sup>2</sup> Time: W/m<sup>2</sup> Døgn: MJ/m<sup>2</sup>

Gr.min (grasminimumstemperatur): Temperatur 2 cm over grasplen.

Manuell / automatisk registrert nedbør

1943 – 1987 Manuell dageleg registrering, tomme ruter tyder ingen nedbør

1988: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) alle månadane.

1989: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) alle månadane.

1990: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) alle månadane.

1991: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) alle månadane.

1992: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) alle månadane.

1993: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) alle månadane.

1994: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april og oktober til desember.

Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai til september.

1995: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april, september og november til desember.

Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai til august og oktober.

1996: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april og november til desember.

Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai til oktober.

1997: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april, juni, juli og oktober til desember.

Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai, august,september ( nedbør 9.9 - 18.9 er registrert

manuelt ).

1998: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april,november til desember.

Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai-oktober

1999: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april og november til desember.

Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai-oktober

2000: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april og oktober til desember.

Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai- november

2001: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april og november til desember.

- Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai-oktober
- 2002 : Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til april og desember.  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) : Mai-november
- 2003 : Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til mai, oktober-november  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) Juni-september
- 2004 : Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar til mai, september-desember  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) Juni-august
- 2005 : Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar – Februar, november-desember  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) Mars-oktober
- 2006 : Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar –  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) Februar – desember
- 2007 : Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Februar – desember
- 2008 : Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Februar – desember
- 2009: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Desember  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Januar – november
- 2010: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : 19. - 31. august og september  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Januar – oktober, november-desember
- 2011: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Februar og desember  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Januar , mars til november
- 2012: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Februar og august  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Januar , mars til juli, september til desember
- 2013: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : Januar- mars  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – april til desember
- 2014: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) :  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Januar – desember
- 2015: Manuell registrering ( kl 8 til kl 8 på kvardagar ) : februar- april, oktober  
Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Januar, mai- september
- 2016: Automatisk registrering ( kl 00 til kl 24 ) – Januar – desember





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway