



SHO6261

Mastergradsoppgave i teknologi

## **Å Studere effekt av isolasjonsmaterialet posisjon i en husvegg**

Effect of insulation materials position in a house wall

Mohammad Anwar

Juni, 2016

<b>Tittel:</b> Å studere effekt av isolasjonsmaterialet posisjon i en husvegg Effect of insulation materials in a house wall		<b>Dato:</b> 30.06.2016
		<b>Gradering:</b> Åpen
<b>Forfatter:</b> Mohammad Anwar		<b>Antall sider:</b> 103
		<b>Vedlegg: 3</b>
<b>Fakultet:</b> Ingeniørvitenskap og teknologi	<b>Institutt:</b> Bygg, energi og materialteknologi - Master Integrert bygningsteknologi	
<b>Veiledere:</b> Prof. Nguen, Hung Thanh		
<b>Sammendrag:</b> Rapporten tar for seg en eksperimentelle analyse i for bindelse med varmetransports gjennomyttervegger. Det teoretiske grunnlaget tar for seg Energitap gjennomvegger, varmeoverføringsfaktorer og fordeling i yttervegger. Numeriske beregninger og Simuleringer er utført for å studere virkninger av isolasjonsmaterialer i varmt og kaldforhold.		
<b>Abstract:</b> The report addresses an experimental analysis in connection with heat transports through exterior walls. The theoretical basis deals with Dissipation through walls, heat transfer factors and heat distribution in the outer walls. Numerical calculations and simulations are performed to study the effects of insulation materials in hot and cold conditions.		



**UiT**  
THE ARCTIC  
UNIVERSITY  
OF NORWAY

## 1 Forord

I løpet av studiene mine på IB (Integrert bygnings teknologi) ved UiT (Universitet I Tromsø) campus Narvik har jeg lært flere forskjellige fag og metoder som gir meg kunnskap for å kontrollere og optimalisere varmeoverføringsprosesser i yttervegger. Effekt av Isolasjonsmaterialer, om luftlag har noe betydning eller effekt på varmetap i yttervegger? kan Luftlag brukes som et lag av isolasjon i yttervegger? er det mulig å erstatte tykke og dyrere yttervegger ved tynnere og billigere yttervegger? Det var eventyrligspennende for meg, så bestemte jeg meg for å knytte hovedoppgaven min til et konkret eksisterende problem som kan løses ved hjelp av disse metodene. Vi kan finne løsninger for problemene ved hjelp av følgende terminologier.

- Eksperiment på varmeoverføringsprosesser gjennom yttervegger
- Teori og beregning av varmetransportsprosesser gjennom vegger
- Simulering av varmeoverføringsprosesser gjennom vegger

Arbeidet med dette prosjektet var virkelig både tids og kunnskapsmessig krevende. Eksperiment delen var virkelig utfordrende for meg, for det første var det aktuelle materialer til unit 1 utilgjengelig på markedet, og for det andre oppbygging av luftlag manuelt fra lokale materialer var ikke aktuelt. Derfor brukte jeg mer tid enn til den planlagt. Jeg vil gjerne gi en spesiell takk til mine veiledere fra UiT (Universitet i Tromsø) som hjalp meg mye med dette prosjektet:

**Førsteam, Prof. Nguyen, Hung Thanh** for sin innsats med teori og prosjektet selv og **Andreassen, Nils** som hjalp meg mye både med montering av sensorene, kontroll prosesser av varmeoverføring i laboratorium og dataoverføring. Jeg vil gjerne si takk til læreren min **Universitetslektor, stipendiat Svein Erik Sveen** som hjalp meg med beregningsprosessen av prosjektet. Jeg setter stor pris på hjelpen jeg fikk av to studenter, **Doan Ngoc Khiem** som hjalp meg ved simulering av varmeoverføring og **Shamsullah Sahid** som hjalp meg med oppbygging av veggen for eksperimentet. Jeg takker dem for deres innsats og hjelp.

Jeg vil gjerne også takke **Prof. Bjørnar Storeng** direktør av UiT campus Narvik, **førsteam, Dr. ing Raymond Riise, og Prof. Calay, Rajnish kaur** for deres besøk av prosjektet og for oppmuntringen og motivasjonen av dette prosjektet.

**UiT Norges Arktiske Universitet**

**Narvik, 28. juni 2016**

**Mohammad Anwar**



## 2 Innhold

1	Innhold .....	ii
2	Forord .....	i
3	Sammendrag .....	viii
4	Abstract .....	x
1.	Innledning .....	1
1.1	Bakgrunn .....	1
1.2	Prosjekt Mål .....	1
1.3	Prosjekt formål og omfang .....	2
1.4	Akronymer .....	2
1.5	Problembeskrivelse .....	3
1.6	Arbeidsmetode .....	3
1.7	Rapportens struktur .....	4
2.	Kapittel 1 .....	5
2.1	Litteratur studiene .....	5
2.1.1	Klima været i Norge .....	5
2.1.2	Litteratur oversikt av varme tap og varme –isolasjons .....	9
2.1.3	Varmetransport (varmetap) .....	9
2.2.	Varmeledning .....	10
2.3	Konveksjon .....	13
2.4	Varme transport ved stråling .....	15
3	Veggkonstruksjoner .....	17
3.1	Yttervegger .....	17
3.2	Innervegger .....	21
3.3	Varmeisolasjon .....	23
4	Kapittel 2 .....	25
4.1	Miljø Vennlige materialer .....	25
	.....	25
4.1.1	Tre baserte plate materiale .....	26
4.1.2	Materialer til utvendig veggkledning .....	31
4.1.3	Innvendig kledning .....	35
4.1.1	Miljøvennlige isolasjonsmaterialer .....	36
5	Kapittel 3 .....	43
5.1	Eksperimentell seksjon .....	43
3.1	Sensorplassering, måleoppsetting .....	49

6	Kapittel 4 .....	58
6.1	Forsøk1 unit 1 Numeriskberegning .....	58
6.2	Forsøk 1 unit2 Numeriskberegning .....	63
6.3	Forsøk 2 unit1 Numeriskberegning.....	68
6.4	Forsøk 2 unit2 Numeriskberegning .....	73
7	Kapittel 5 .....	78
7.1	Varmeoverførings simulering seksjon.....	78
7.1.1	Forsøk 1 unit 1 og temperatur (-20, +20) C°.....	79
7.1.2	Forsøk 1 unit 2.....	82
7.2.1	Forsøk 2 unit 1.....	85
7.2.2	Forsøk 2 unit 2.....	88
8.	Kapittel 6:.....	91
8.1	Resultater .....	91
8.1.1	Resultater av forsøk 1 .....	91
	.....	92
8.1.2	Resultater av forsøk 2 .....	93
9.	Kommentarer til resultatene.....	95
9.1	Plassering og retning av Isolasjon.....	95
10.	Effekt av stilleluftlag .....	96
10.1	Stilleluftlag .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
11.	Konklusjon .....	98
12.	Diskusjon .....	100
13.	Forslag og anbefaling.....	101

### 3. Figurliste

Figur 1.Klimasoner i Norge.....	6
Figur 2 kilde( Magnus Andersen/Norsk Polarinstittutt).....	7
Figur 3,Kilde ( Klima og klimaendringer, Norsk Polarinstittutt 2014.....	7
Figur 4,For lite og altfor mye vann, to sider av samme sak- klimaendringer NUPI (30) .....	8
Figur 5,Bildet av Garltland etter en tornado som skjedde i den 27. desember.( G.J McCARTHY, Dalas morning news, AP) .....	8
Figur 6 kilde (TBA4122, kompendium) NTNU høsten2011 .....	9
Figur 7 basert på data fra cookwilkie 11 (a).....	9
Figur 8basert data fra nett side (a) .....	10
Figur 9kilde (nettside C) .....	10
Figur 10Kilde (Fysikk forkurs 7 Termofysikk ) nettside(b).....	11
Figur 11Varmeoverføring gjennom konveksjonen, nettside (b, C).....	13
Figur 12Illustrasjon av frikonveksjon kilde (Google nettside (b,C).....	14
Figur 13Kilde (heat and Mass transfer bok).....	14
Figur 14, Påtvunget konveksjon.....	15
Figur15stråling (university of Waikato, 2009 (b) .....	15
Figur 16( Trehus Håndbok Sintef byggforsk .....	17
Figur 17 Kilde (Trehus Håndbok Sintef Byggforsk).....	18
Figur 18Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk) .....	19
Figur 19Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk) .....	19
Figur 20Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk) .....	20
Figur 21 Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk) .....	21
Figur 22 Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk) .....	21
Figur 23Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk) .....	22
Figur 24. kilde (Trehus Håndbok Sintef bygg forsk) .....	24
Figur 25.kilde (Trehus Håndbok Sintef byggforsk) .....	24
Figur 26.Trebaserte Miljøvennlige materialer .....	25
Figur 27. sponplater, miljøvennlige materialer.....	27
Figur 28. sponplater, miljøvennlige materialer.....	28
Figur 29. Miljøvennlige trebaserte plater .....	29
Figur 30.Miljøvennlige tre baserte materialer .....	29
Figur 31. Miljøvennlige Trebaserte materialer .....	30
Figur 32.Trehus (Noen eksempler på stående tre kledning) .....	33
Figur 33.klednings eksempel (Trehus Hånd bok Sintef).....	34
Figur 34 .Standard Panel typer, kilde (Trehus Håndbok Sintef Bygg forsk .....	36
Figur 35. Steinull Kilde (Rockwool nett side) .....	37
Figur 36. Standard Miljøvennlige isolasjonsmaterialer.....	38
Figur 37. (Miljøvennlig isolasjonsmaterialer .....	38
Figur 38.Trefiber (Standard Miljøvennlige isolasjons materialer) .....	39
Figur 39.bomull (Standard miljøvennlig isolasjons material) .....	39
Figur 40. Bølgepapp (Miljøvennlig isolasjons material) .....	40
Figur 41.Cellulosefiber (Standard Miljøvennlig isolasjonsmaterialer) .....	40
Figur 42.Hampfiber (Standard Miljøvennlig Isolasjonsmateriale) .....	40
Figur 43.Isopor (Standard Miljøvennlig isolasjonsmateriale) .....	41
Figur 44. Kokosnøtt fiber (Miljøvennlig isolasjonsmateriale) .....	41
Figur 45. Kork (Miljøvennlig isolasjonsmateriale).....	42
Figur 46.Linfiber (Miljøvennlig isolasjonsmateriale).....	42

Figur 47.Veggens ramme som er blitt brukt i eksperimentet.....	44
Figur 48. Isolering prinsipper av veggen .....	45
Figur 49.isolerings prinsipper av veggen.....	46
Figur 50.stilleluftlommer i henhold til planen som var ikke tilgjengelig i markedet .....	46
Figur 51.eksperiment, stilleluftlag unit1, tatt av Anwar .....	47
Figur 52 .retning på Plassering av isolasjonsmaterialer i unit 1 og 2.....	47
Figur 53. Veggens ramme som er blitt brukt i eksperimentet.....	48
Figur 54. Veggens ramme er blitt monterte på plass for eksperimentet, bildet er tatt av M Anwar.....	48
Figur 55.Veggens tverrsnittet som viser montering og plassering av sensorene på veggen.....	50
Figur 56. Eksperimentet, plassering av sensorene på innvendig overflate av veggen. Bildet tatt av M Anwar.....	51
Figur 57.Eksperiment, Montering av sensorene i luftlags området. Bildet er tatt av M Anwar.....	51
Figur 58.Isolerings prosessen av veggen. Bildet er tatt av M Anwar .....	52
Figur 59.Eksperiment, Isolering prosessen av veggen. Bildet er tatt av M Anwar .....	52
Figur 60. Monterings prosessen av sensorene .....	54
Figur 61.Temperaturens kontroll på laben .....	54
Figur 62.Temperaturens kontroll på laben .....	55
Figur 63.Temperaturens kontroll på laben .....	55
Figur 64 . Temperaturens kontroll på laben .....	55
Figur 65. Unit 1 og 2 Isolasjonsretning i forsøk 2.....	56
Figur 66.Forsøk2, isolerings prosessen .....	57
Figur 67.Forsøk2, isolerings prosessen for andre lag.....	57
Figur 68. Veggens tverrsnitt for unit 1 .....	58
Figur 69. Temperaturfordelings graf.....	60
Figur 70. varmetransportsfordelings graf.....	61
Figur 71. Varmetransportsfordelings graf.....	62
Figur 72. tverrsnittet er til unit 2 .....	63
Figur 73.Varmeoverføring fordelings graf .....	64
Figur 74.Varmeoverføringsfordeling graf .....	65
Figur 75.Varmeoverføringsfordeling graf .....	66
Figur 76.Varmeoverføringsfordeling graf. ....	67
Figur 77.Veggens tverrsnitt for unit1.....	68
Figur 78. Varmeoverføringsfordeling graf .....	69
Figur 79.Varmeoverføringsfordeling graf .....	70
Figur 80.Varmeoverføringsfordeling graf .....	71
Figur 81. Varmeoverføringsfordeling graf .....	72
Figur 82. Veggens tverrsnitt for unit2 .....	73
Figur 83.Temperaturfordelings graf.....	74
Figur 84.Temperaturfordelings graf.....	75
Figur 85.Varmeoverføringfordelings graf .....	76
Figur 86.Energitransportfordelings graf.....	77
Figur 87. Veggens tverrsnitt for unit 1 .....	78
Figur88. Varmetransportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launcher) .....	79
Figur 89. Tverrsnittet er blitt brukt for varmeoverføringssimulering.....	79
Figur90.Varmetransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher .....	80
Figur91.Varmetransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher .....	80
Figur92.Varme transportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launcher .....	81
Figur 93. Veggens tverrsnitt for unit 2 .....	82
Figur94.,Varmetransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher) .....	83
Figur95. Varmetransportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launch.....	83



Figur96.Varme transportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launcher) .....	84
Figur97. Varmetransportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launcher .....	84
Figur 98.Veggens tverrsnitt for unit 1 .....	85
Figur99.Energitransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher .....	86
Figur100.Energitransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher .....	86
Figur101. Energitransportssimulering (Ansys Mechanical APDL Product Launcher .....	87
Figur 102. Veggens tverrsnitt for unit 2 .....	88
Figur103.Energitransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher .....	89

#### 4. Tabelloversikt

Tabell 1 Kilde ( Heat and Mass transfer-----	12
Tabell 2 Kilde (Heat and Mass transfer) -----	23
Tabell 3. Kilde ( Heat and mass transfer. basert på Yunus A. Cengel.AfshinJ Ghajar) -----	23
Tabell 4. Vanlige trefiberplater -----	30
Tabell 5. kilde ( Trehus Hånd bok Sintef Byggforsk) -----	31
Tabell 6. Standard Dimensjoner på panelbord, kilde (Trehus håndbok Sintef bygg forsk)-----	35
Tabell 7.informasjon om sensorenes plassering på datamaskin i lab-----	49
Tabell 8. Beregning av varmeoverføring gjennom veggen-----	59
Tabell 9.Beregnings data for varmeoverføring gjennom veggen-----	60
Tabell 10.Beregningsdata for varmetransporten gjennomveggen-----	61
Tabell 11. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	62
Tabell 12. beregnings data for varmetransporten gjennomveggen -----	64
Tabell 13.Beregningsdata for varmeoverføring-----	65
Tabell 14.Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	66
Tabell 15.Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	67
Tabell 16. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	70
Tabell 17.Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	71
Tabell 18.Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	72
Tabell 19.Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	74
Tabell 20.Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	75
Tabell 21. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	76
Tabell 22.Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen-----	77
Tabell 23.Resultater av både eksperiment, beregning og simulering. -----	91
Tabell 24.Resultater av både eksperiment, beregning og simulering -----	92
Tabell 25.Resultater av både eksperiment, beregning og simulering -----	93
Tabell 26.Resultater av både eksperiment, beregning og simulering -----	94
Tabell 27. Kommentarer -----	95
Tabell 28. kommentarer -----	96
Tabell 29. Kommentarer -----	97

### 3 Sammendrag

I henhold til statistisk sentralbyrå er Norge ett av de landene I verden med størst forbruk av elektrisk energi per innbyggere (28). Omtrent (Ca.¾) tre fjerdedeler av energibruken i husholdninger går til oppvarming av bolig og varmtvann over hele landet. Den årlige bygningens energiforbruk spiller en betydelig rolle i det totale energiforbruket i landet. Det er velkjent at isolasjonsytelsen til de ytre veggene av en bygning er en kritisk faktor for energiforbruket til klimaanlegget. (28)

Resultatene viser at økningen av isolasjonstykkelse har en betydelig effekt på bygnings varme belastningen; omvendt den oppviser en forholdsvis liten virkning på bygningskjøle behov.

I områder med kaldt klima, spesielt i nord Norge jobber byggefirmaer med å bygge godt isolerte bygninger som kan være engeisparende og godt isolerte slik at energiforbruket per innbygger reduseres.

I tillegg er nord Norge velkjent for sin hard vinter klima med lange vinter måneder som varer fra desember helt frem til mai måned. Hvor temperaturen ligger under (0 °) mesteparten av tiden. Dette medfører at vi bruker mye energi for å holde huset varmt i hele vintertiden. For å bygge sånne vegger som gir oss vel-isolerte bygninger koster det veldig mye på grunn av massiv bruk av isolasjon og konstruksjons materialer samt mye arbeid. For å hindre dette, det kan være lurt å se etter noen andre alternativer, dersom man kan få vel-isolerte vegger med kompositt isoleringsprosess, og som konsekvens kan man bygge tynnere yttervegger istedenfor å bygge tykkere vegger.

Stilleluftlag er en veldig god isolasjon med lav termisk ledningsevne som kan brukes i vegger som et isolasjonslag. Jeg vil gjerne bruke luft lag som et isolasjonsmateriale i eksperimentene i en kompositt vegg for å finne ut effekten på varmetransport gjennom veggen, og sammenligne resultatet deretter med resultatet av en vegg uten stilleluftlag med samme tykkelse og som er vel-isolert med bare en type isolasjon.

I denne master oppgaven vil jeg gjerne fokusere på effekt av tykkelsen av isolasjonsmaterialer og effekt av stilleluft lag i isolasjon materiale på varme tap.

Hovedmålet med dette prosjektet er å sammenligne den numeriske beregningen av varmeoverføring med eksperimentelle data. Som et resultat av prosjektet ønskes det å finne ut, om stilleluftlag har noe effekt på varmeoverføring i system av en sammensatt vegg, og er det mulig å erstatte tykkere og dyrere vegger med tynnere og billigere vegger i bygninger. For å finne ut løsninger til de overste sakene eller problemene, ønskes det å dele oppgaven i noen kapitler som gjør det enklere å løse oppgaven.

#### **Prosjektet er blitt delt inn i seks kapitler.**

1. Kapittel 1, Litteratur studiene eller Teori seksjon
2. Kapittel 2, Miljøvennlige materialer
3. Kapittel 3, Eksperimentell seksjon (del)
4. Kapittel 4, Numeriske beregninger av prosjektet
5. Kapittel 5, Varmetransportssimulering ved hjelp av Ansys simulering.
6. Kapittel 6, Resultater, Sammenligning av resultater, diskusjon og konklusjon

### **1. Kapittel 1, Litteratur studiene**

Prosjekt teori delener består av følgende underseksjoner som kommer til å bli forklart i kortform trinnvis.

- a. Klima og været i Norge
- b. Litteratur oversikt
- c. Varmetransport
- d. Brukervennlighet
- e. Tilpasning norsk standard hus treveggen Dimensjon
- f. Utsatt Veggen for svinger temperatur

### **2. Kapittel 2, Miljøvennlige materialer**

- a. Trebaserte plate materialer
- b. Miljøvennlig tre og isolasjon materialer

### **3. Kapittel 3, Eksperimentell seksjon**

I den eksperimentelle delen av prosjektet vil jeg gjerne bygge to typer av godt isolerte vegger for å se effektiviteten av isolasjon i forskjellige sjiktene av veggen i forbindelse med varmetransport. Forsøket vil bli delt i to forsøk som vil ha kjølerom som kaldt luft omgivelse og verksted som inneluft, og til hvert forsøket brukes det en vegg i 1500 mm x 2500 mm dimensjon, Og deretter deles veggen i to like deler. Første delen blir som unit 1 eller modul 1 og andre delen blir unit 2 eller modul 2.

- A. Vegg type 1 (unit 1 og unit 2)

Vegg design og eksperimentetsprosedyrefor forsøk 1 blir forklart i kapital (2)

- B. Vegg type 2 (unit 1 og unit 2)

Vegg design og eksperimentets prosedyre for forsøk 2 blir forklart i kapital (2).

### **4. Kapittel 4, Numeriske beregninger av prosjektet**

Numeriske beregninger av prosjektet er blitt gjort I den fjerde delen av hovedrapporten.

### **5. Kapittel 5, VarmetransportsfordelignsAnsys simulering**

I Ansys-simulerings seksjon ønskes det å gjennomføre varmetransports simulering for alle disse to type vegger inkludert mange andre sammensatte vegger simulering for å se etter resultater og deretter sammenligne resultatene fra begge eksperimenter og beregning med simulering. Ved hjelp av simulering kan det finnes ut nodal-temperatur til hvert sjikt i veggen. Dessuten, simulering av varmetransport gir oss et bildet av temperatur fordeling som skjer gjennom en vegg, og kan se etter varmetapet i veggens tverrsnittet. Simulering av energioverføring gjennom en vegg gir oss et fullstendig bilde som kan ha påvirkning når det gjelder valg av veggens tykkelse og typer. Derfor ville jeg gjerne utføre varmeoverføringssimulering for å finne ut om tynne og godt isolerte vegger.

### **6. Kapittel 6, Resultater og sammenligning av resultater**

I dette kapitelet sammenlignes resultater fra eksperimentet, beregninger og simuleringer. Videre skal det skrives om diskusjon og konklusjon.

## 4 Abstract

According to the statistics bureau (Statistisksentralbyrå) of Norway, Norway is one of the countries in the world with the highest consumption of electric power per inhabitants. Approximately three-quarters or  $\frac{3}{4}$  part of energy consumption in each household is used for heating of residential and heating of water across the country. (28 )

The annual building energy consumption plays a significant role in the total energy consumption in the country. It is well-known that the Insulation performance of the external walls of a building is a critical factor for the energy consumption of air conditioning system. The results show that the increase in insulation/ isolation thickness has a significant effect on the building's heating load; conversely it exhibits a relatively small effect on the building cooling load.

In many cold climate areas or regions , particularly in Northern part of Norway the builders and construction companies are trying to build well-insulated building, in order to avoid high energy consumptions in every/ each household. In addition, northern Norway is well known with its long winter from December month to the month of May. Where temperature is under ( $0^{\circ}$ ) most of the time. This means that we use a lot of energy to keep the house warm in the winter. To build such wall which can give us well-insulated state cost too much due to use of lots of insulation and constructions materials as well as lots of work. To prevent this, it would be smart to look for some other alternatives and options, incase / if we can get well-insulated walls with composite insulation process, as a consequence of the project, can vi build thinner exterior walls instead of building thicker walls.

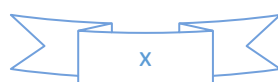
Still air layer is a very good insulation it self with its low thermal conductivity, which can be used in walls as an insulating layer. It is planed to use still air layer as insulations layer in the experiment inside a composite wall to determine the efficiency of it and compare the results with the wall without still air layer with the same thinks insulated with the same one type insulations materials.

In this project (thesis) would like to focus more on the effect of the thickness of insulation materials and see the effect of still-air on heat transfer.

The major objective of this project (thesis) is to compare the numerical calculation of heat transfer with the experimental data. As a result of the project I would like to find out if still-air layer has any effect on heat transfer in the system of a composite wall, and is it possible to replace the thicker and more expensive walls with thinner and cheaper walls in buildings. For the solution of mentioned problems would like to divide the project into six capitals as following.

**The project has been divided into six chapters.**

1. chapter 1, Literature studies of theory section
2. Chapter2, Eco-friendly materials
3. chapter 3, Experimental section
4. Chapter 4, Numerical coputations/ calculation of the project
5. Chapter 5, Heat transports Ansys simulation section
6. Chapter 6, Results, comparison of results, discussion and conclusion as well as some suggestion.



### **1. Capital 1, Literature studies of the Projects**

Project's literature studies or theoretical section is composed of the following sub-sections which are going to be explained in short form step by step.

- a. Climate weather in Norway
- b. Literature overview
- c. Heat transfer
- d. Tilpasning norsk standard hus treveggen dimensjon (Walls standard Dimensions)

### **2. Chepter 2, Eco-friendly materials**

Eco- friendly materials are the dominant topics in this chapter. In this chepter Wooden based panels and insulation materials are explained in short form as well.

- a. Wooden / Timber panels
- b. Eco-friendly insulation materials

### **3. Capital 3, Experimental section**

In the experimental part of the project would like to build two types of well-insulated walls to see the effectiveness of insulation in different layers of the wall. The experiment will be done in two attempts where the cold rom will be used as cold air environment and workshop as hot air environment. According to the plan in every attempt I would build a wall in 1500 mm x 2500 mm dimension, and then it will be divided in exactly same two parts. The first part will be unit 1 or Module 1 and second part will be unit 2 or module 2.

A. Wall type 1 (unit 1 and unit 2)

Wall design and experiment procedure of experiment 1 are explained in capital (2)

B. Wall type 2 (unit 1 and unit 2)

Wall design and experiment procedure of experiment 2 are explained in chepter / capital (2).

### **4. Chapter 4, Numerical calculation /coputations of the project**

Numerical calculations of the project has been done in the fourth section of the main report.

### **5. Capital 5, Ansyssimulation section**

In Ansys simulation section would like to conduct heat transfer simulation for all types of walls including many other composite walls simulations to check for results and then compare the results from both experimental and computational with results of simulation. Heat transfer simulation will help us to find the nodal temperature of each layer in the wall. Moreover, simulation of heat transfer gives us a picture of temperature distribution happens through a wall. Indeed, simulation of energy transfer through a wall give us a complete picture for selection of walls thickness and types. Therefore wanted to perform heat transfer simulation to determine if thin and well-insulated wall.

### **6. Capital 6 , results and comparison of results**

In this capital would like to compare the results from both experiments, calculation and simulation with each other and would write discussion as well as conclusion.

## Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Tre-hus er den vanligste boligformen i Norge som brukes av folk flest spesielt i nord Norge. Klimaet i nord Norge er en velkjent hardklime med lange vinter måneder helt fra desember til mai måned. Hvor temperaturen er ofte under null grader. Dette medfører at vi bruker mye energi for å holde huset varmt i hele vintertid. Vi ønsker at meste parten av energimengden skal gå til å varme huset, istedenfor å utveksle temperatur med omgivelsene (varme tap). En måten å hindre varmetap på er at vi hindrer varme utvekslinger mellom inne temperatur og ute temperatur, ved å innsette isolasjon-materialet med lav varme konduksjon/ varmeledningskoeffisient (-Verdi)

I denne master oppgaven fokuserer vi oss på effekt av tykkelsen av isolasjonsmaterialer og stille luft lag i isolasjonsmaterialet.

### 1.2 Prosjekt Mål

I forhold til bakgrunnen av problemstillingen blir prosjektmålet beskrevet som å finne effekt av isolasjon i trevegger. Det ønskes å se etter isolasjonsmaterialets posisjons påvirkning i trevegger. Hvordan må man isolere en vegg og hvilken måte er riktig. Hvordan får vi vel isolert vegg eller andre deler i en bygg.

Kan vi bruke et luftlag som vanlig isolasjonslag, siden luften er en god isolasjon i seg selv? Hvordan blir varmeoverføring gjennom yttervegger? Er det mulig å få bedre isolering av en vegg med kompositt isolering system (isolering av et tverrsnitt ved to eller flere type isolasjonsmaterialer) enn med enkelt isolering system (isolering av et tverrsnitt ved bare en type isolasjonsmateriale)? Jeg vil prøve å bruke stille-luftlag som isolasjonslag innimellom isolasjonsmaterialer og vil finne ut hvordan resultatet blir. Resultater fra både eksperimentet, numeriskberegninger og varmeoverføringssimuleringer vil hjelpe oss eller vil gi oss svare på om det er mulig å erstatte tykkere og dyrere yttervegger med tynnere og billigere yttervegger.

### 1.3 Prosjekt formål og omfang

Prosjektrapport av hovedoppgaven består av seks hoved kapitler som er knyttet til hverandre. Den første kapitlet eller delen av hovedrapport som viser teori og prinsipper for prosjektering av varmetransport gjennom vegger samt beskriver gjennomførings prosess for å oppnå ønsket resultater. Standard vegg konstruksjons prosessen til yttervegger og isoleringssystem i yttervegger er forklart i første kapitlet.

Den andre seksjon eller delen av prosjektrapporten består av informasjon og beskrivelse om miljø vennlige materialer som brukes i standardveggkonstruksjonen. Det står informasjon og beskrivelse av tre-plater og isolasjonsmaterialer som blir bruk i standard veggkonstruksjonen.

I den tredje delen av prosjektrapporten beskrives det eksperimentelle prinsipper, modulers type, moduls struktur, materialer som er brukt i eksperimentet, temperatur forholdet, måling av temperatur samt gjennomføringsprosessen for å oppnå ønsket resultat.

Den fjerde seksjonen av hovedrapporten består av prosjekts beregningsprinsipper og regler.

Den femte seksjonen av rapporten beskriver Ansys varmeoverføringssimulering av eksperimentelle data i trinnvis. I henhold til planen skal energitransportssimulering gjennomføres trinnvis for å gjøre det enklere og mer forståelig.

Den siste delen av prosjekts rapporten dekker sammenligning av resultater fra teori og simulering data med eksperimentelle data. Resultater, Diskusjon, Konklusjon og kommentarer er de viktigste deler som er blitt gjennomført trinnvis i dette kapitlet.

Målet med oppgaven er stor sett å sammenligne teori data med praktisk (eksperimentale data) i forbindelse med varmetap/ varmeoverføring i bygninger. Oppgaven er utført i tilknytning til reelle prosjekter, noe som gjør det enklere å se på effekt av isolasjons materialet i bygg deler.

### 1.4 Akronymer

7. VTS – Varmetransportssimulering
8.  $\Delta T$  - Temperatur gradient
9. EPS - *Ekspandert polystyren*
10. OSB - Oriented Strand Board
11. MDF - Medium Density Fiber board
12. AVS – Ansysvarmeoverføringssimulering
13. M – Meter



## 1.5 Problembeskrivelse

I denne master oppgaven skal det fokuseres mye på effekt av tykkelsen av isolasjonsmaterialet og stille luftlag i isolasjonmateriale på varme tap. Oppgaven går ut på å konstruere / konstruerefysisk, matematiske varme likning for kompositt materialer (trevegg-med isolasjon) og sammenligninger med eksperiment data. Og tilslutt trekk konklusjon om isolasjon tykkelsen samt om luftlag har noe effekt på varme tap. I denne oppgaven skal det tas hensyn på følgende saker.

- Miljøvennlig materialer
- Bruks/brukervennlighet
- Tilpasning norsk standard hus-treveggen dimensjon
- Utsatt veggen for svinger temperaturer
- Standard treveggkonstruksjoner

## 1.6 Arbeidsmetode

Hovedoppgaven er hovedsakelig basert på litteraturstudier som finnes i relaterte faglige bøker på biblioteket på UiT, artikler på internett og i tekniske blader. Inngangs parameter for lønnsomhetsberegninger er hentet fra faglige standard bøker og tabeller. I eksperimentelle seksjonen noen nødvendig tegninger og skisser for begge to forsøket er laget/ gjennomført ved hjelp av Auto CAD og paint. Noen bilder av eksperimentet er hentet trinnvis for forsterkning av dokumentasjon. For å kunne registrere varmeoverføringsfordeling gjennom ytterveggen i eksperimentet, brukte vi datamaskin system som kunne registrere data for noen dager. Ansys (Mechanical APDL Product launcher 16.2) er blitt brukt for å gjennomføre varmeoverføringsfordelingssimulering gjennomveggen. Det er brukt både steady- state og transiente varmetransport former i Simuleringsprosessen. Simulering av energitransporten er blitt gjennomført trinnvis for å gjøre det enklere og mer forståelig. Noen bilder og temperturfordelings graf er hentet fra Ansysprogramet for forsterkning av dokumentasjonen. Numeriske beregningene og sammenlignings seksjonen er hovedsakelig utført ved hjelp av Excel ark. Noen bilder og temperturfordelings-grafer er hentet fra Ansysprogramet for forsterkning av dokumentasjonen. Numeriske beregningene og sammenlignings seksjonen er hovedsakelig utført ved hjelp av Excel ark. Noen bilder og grafer for både eksperimentet, numerisk beregningerog simuleringsprosessene er beskrevet i kortformer i hovedrapporten og detaljert beskrivelsen av de ligger i vedlegger. Det ville være flott å si at eksperiments data ligger i vedlegger også.

## 1.7 Rapportens struktur

Prosjektets hoved rapport begynnes på litteratur basert på studiene som er blitt gjennomført i løpet av kapitel / seksjon 1 i hovedoppgaven min. Litteratur studiene mine består av oversikt over varmetransport og varmeoverføringsformer som er forklart kortformer trinnvis i kapitel 1. Dessuten, standard veggkonstruksjons prosedyren er beskrevet i kortform i dette kapitelet også.

Kapitlet omfatter informasjon om innvendig og utvendig vegg kledninger, Dampspærre , vindspærre og killevegger.

Jobben med den andre delen av hovedrapporten har vært stort sett med miljøvennlige trebaserte materialer og miljøvennlige isolasjonsmaterialer som brukes i standard veggkonstruksjoner.

I den tredje delen av hovedrapporten, ble det jobbet stort sett med eksperimentet som var den viktigste og mest tidskrevende delen / seksjonen av prosjektet. Eksperimentet er gjennomført i to runder ( forsøk 1 og forsøk 2). Resultater av eksperimentet ligger i vedlegger og skrevet ut i begge sider på grunn av størrelsen. Dessuten, hovedrapporten i den fjerde delen beskriver og diskuterer Numeriske beregningens prosedyrer og terminologier. I tillegg til numeriske beregninger er det dominerende sak i dette kapitelet. Detaljert form av numeriske beregninger kan finnes i vedlegger.

Hovedrapporten i den femte seksjonen beskriver varmetransports simuleringsprosessen trinnvis. Noen bilder og grafer er hentet fra simuleringsprosessen for forsterkning av dokumentasjon. Detaljert form av varmesimuleringsprosessen kan finnes i vedlegger.

Den sjettede og siste delen av hoved rapporten tar for seg forklaringer og beskrivelser på likheter og forskjeller av resultater både fra eksperimentelle , numeriske beregninger og simulerings data. Konklusjon, notater, forslag og diskusjons delen er også inkludert i denne delen av oppgaven.

## 2. Kapittel 1

### 2.1 Litteratur studiene

#### 2.1.1 Klima været i Norge

Det snakkes daglig om været, med været mener vi fenomener som vind, nedbør, temperatur, fuktighet, skydekke og hvordan disse fenomener oppleves i hverdagen. Meteorologene som gir oss informasjon om værforholdene bruker teknisk fagspråk. Værdata som angis av meteorologene er eksakt og enkel å registrere systematisk. For å gi autentiske varsler er de ytterligere opptatt av værforholdene andre plasser og høyt oppe i atmosfæren.

#### **Klimaet i Norge.**

*Det er viktig å skille mellom vær og klima. Været forklarer og uttrykker det meteorologiske forholdet for et sted i et gitt tidspunkt, hvor parametere som nedbør og vind vil variere fra dag til dag. Klimaet tar for seg de typiske værforholdene for et sted over lengre periode. Det er tre faktorer som har stor innvirkning på klimaet i Norge. Det første er at landet får varme fra Golfstrømmen, det andre er at landet ligger ganske langt mot nord og det tredje er at landet ligger i vestavindsbeltet. Dessuten er Norge et langstrakt land, og har et svært variert klima, og landets varierte topografi gjør at landet kan ha store klimatiske variasjoner innenfor korte avstander. Disse faktorene gjør at Norge har mye nedbør og at landet har uvanlige høytemperaturer, hadde det ikke vært for Golfstrømmen ville vi hatt arktisk klima og store deler av Nord-Norge ville vært ubeboelig. I følge Knut Jona Espedal (11) Klimaet i Norge kan deles i forskjellige soner.*

- Kystklima kjennetegnes av jevne temperaturer med mye vind og nedbør. Dette gjør at bygningene i det ytterste strøkene er veldig utsatt og utfordrende når det gjelder tiltak mot vind, vannskader, lekkasjer, fuktighet og slagregn vindtetting og stormer.
- Innlandsklima kjennetegnes av varme somrer og kaldere vinter og middels nedbør. Hoved problemene i dette klimaet er varmeisolasjon og kondensskader. Snø på takene utgjør fare for kondensskade og belastningsfare.
- Polarklima og høyfjellsklima kjennetegnes av lange vintrer og korte somrer, ekstremkulde og veldig utsatte forhold. Utfordringene her kan være varmeisolasjon, vindtetting og kondensfare. Vind og snø vill føre til slitasje utvendig og fuktskader.
- By klima er forskjellig og litt varmere enn landlige omgivelser på grunn av mye aktivitet som gir varme. Forholdene som skal tas hensyn til i byene er støyisolasjon, brannplanlegging, og ventilasjonsanlegg pga forurensing i luften.

#### **Temperatur**

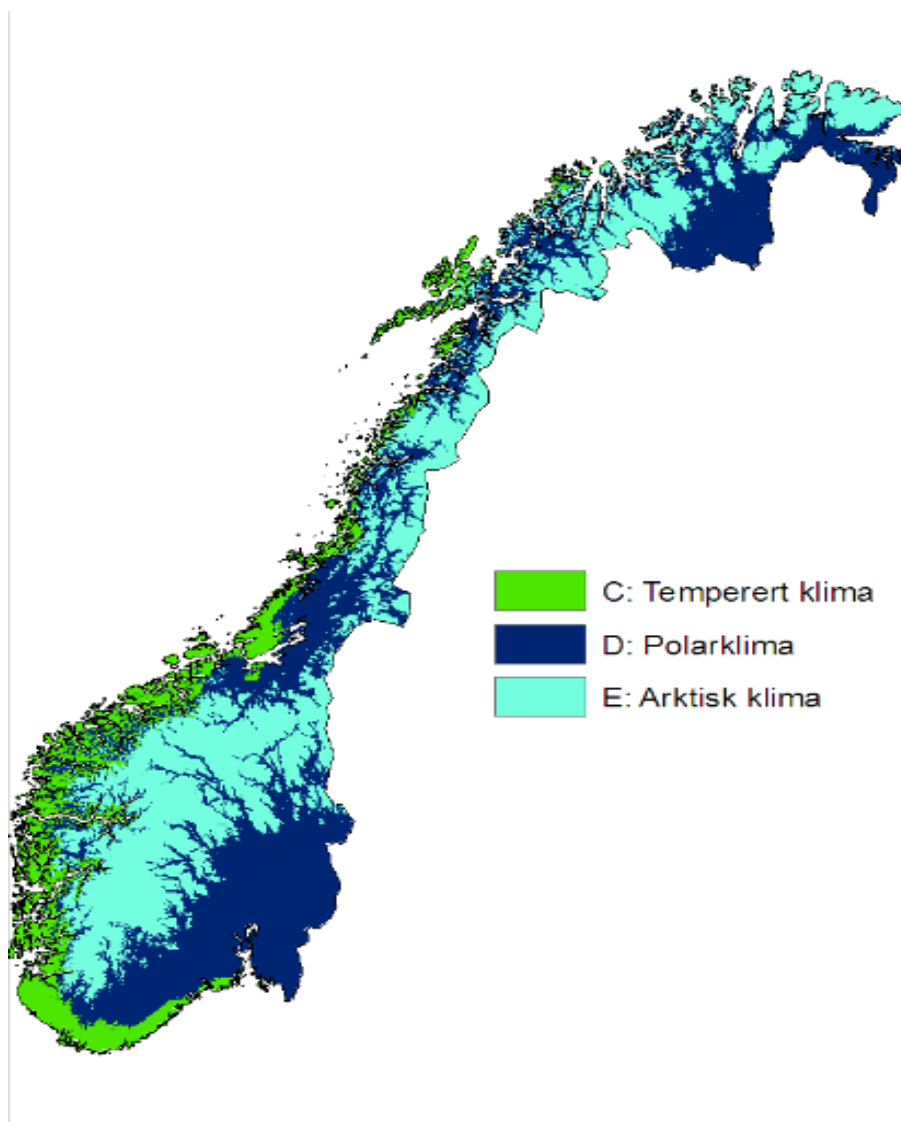
Vi mennesker har veldig lite evne til å tilpasse oss temperatur forandringer i forhold til andre individer som for eksempel dyr. Vi mennesker er utsatt for å fryse i kulde og tåler lite ekstreme varme temperaturer. Dette gjør at vi mennesker har skapt oss ferdigheter og teknikker som gjør at vi kan tilpasse bygningene slik at vi skal få mest mulig beskyttelse mot ekstreme værforhold og god komfort. ( 11)

## 2.2 Nedbør:

Nedbør måles ved hjelp av spesielle nedbørmålere som angir hvor mange ml horisontal overflate er truffet. En vanlig høst regn i Norge gir ca. 2 mm/time nedbør. Nedbørs mengden kan variere veldig fra fylke til fylke og årstidene. Gjennomsnittlig regn i Norge er på ca. 1400 mm i året. Nedbørsstyrke og mengde er avhengig av den utgangstemperaturen skyene er dannet av. Det er lite nedbør i kjølig og kalde steder. Regnet som måles er vertikalt regn som treffer takket. Det har stor betydning i hvordan takket er konstruert for å tåle så mye nedbør. Kraftige regnskyllene har stor innflytelse på beregning av takrenner, nedløpssystem, kummer og avløpssystemer på plasser og vegger. ( 11)

## Slagregn:

Slagregnet kommer horisontalt og er kombinert med vind. Slagregnet treffer vertikale områder og vegger, dører og vinduer. Disse områder er vanligvis mer sårbar for fuktighet enn selve taket og bygningene som treffes av slagregnet er mer utsatte for stor belastning og slitasje. I de områdene hvor slagregn er vanlig må man ta hensyn til flere detaljer av bygninger som hovedinngangsdører, forming av forbindelser mellom hus og garasjer, dekning av inngangspartier, retninger på vinduer og dører for å beskytte de mest mulig fra slagregnet. (11)



Figur 1. Klimasoner i Norge

Når man prosjekterer bygninger er det nødvendig å tilpasse seg etter stedets klimatiske forhold. Innsamling av informasjon og klimadata om topografi kan gi en utvidet forståelse av området og hvilke hensyn som må tas.

### Klimaforandring

For å kunne observere værforholdene i et bestemt område tas det vanligvis utgangspunkt i luftas middeltemperatur og den årlige nedbørsmengden i det området. Endringer i klimaet i forhold til normale målinger kalles for klimaendringer. Det vil si endringer i temperatur og nedbørsmengde i forhold til det normale.

Gjennomsnittstemperatur av jorden har steget opp og det regnes med at temperaturen vil stige opp i fremtiden. Klimaforandring kan ha svært dårlige/ elendige konsekvenser på den globale, som eksempel kan si at det kan forventes mye mer nedbør og ekstremvær, høyere temperaturer og større vindpåkjenninger. Dessuten, klimaforandring vil skape uforventede flommer og store naturskapt ødelegelser (10). Et av funnene i klimapanelets siste rapport er at isen på polene smelter raskere enn før. (29)



Figur 2 kilde ( Magnus Andersen/Norsk Polarinstitt).



Figur 3, Kilde ( Klima og klimaendringer, Norsk Polarinstitt 2014.

Klima forandringer er betydningsfullt i forbindelse med konstruksjoner og bygninger. Konstruksjoner og bygningers levetid er avhengig av de lokale klimapåkjenningene. Høyere temperaturer, vindpåkjenninger og mye mer nedbørsmengder kan slite på overflatefasader og materialer, og vil redusere av levetiden. Økende fuktighet kan skape større vanskeligheter knyttet til fuktskader i konstruksjoner og bygninger. Derfor må bygninger og konstruksjoner designeres, planlegges og tilpasses slik at de skal tåle de ytre klimapåkjenningene. Det kan være et bevis på at økningen av ekstremvær vil føre til strengere krav til oppbygning av konstruksjoner og bygninger i fremtiden.



Figur 4, For lite og altfor mye vann, to sider av samme sak- klimaendringer NUPI (30)



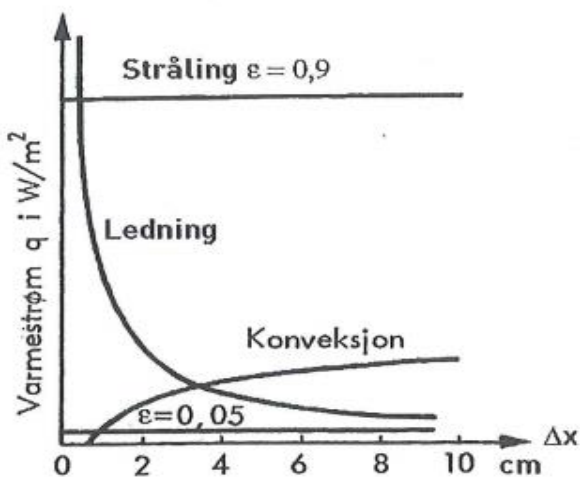
Figur 5, Bildet av Garltland etter en tornado som skjedde i den 27. desember. ( G.J McCARTHY, Dalas morning news, AP)

## 2.1.2 Litteratur oversikt av varme tap og varme –isolasjons Teori seksjons (del)

### 2.1.3 Varmetransport (varmetap)

Varme transport er overføring av energi fra et legeme/kropp med høy

Temperatur til et annet legeme/kropp med lavere temperatur. Varmetransport retningen vil alltid være fra en høyere temperatur til eller mot en lavere temperatur. Varmeenergi måles i SI-systemet i Joule,  $1J = 1ws = 1Nm = 0.239 \text{ cal}$ . (Cengel, 2011). For små hulrom med dimensjoner eller størrelser opp til (3-4)mm er den varmekonduktiviteten dominerende komponent, og fra 5mm og oppover antar stråling med det største bidrag, siden begrensingsarealene er av normalsort. Strålingen kan imidlertid bremses så den blir ubetydelig ved å redusere  $\epsilon$ , for eksempel med aluminiumsfolie,  $\epsilon = 0,05$ . (1) . Strålingsbidraget er ikke avhengig av sjikt tykkelsen. Konveksjonen innløper først inn i bildet ved ca. 10mm luftlagtykkelse, men når  $\epsilon = 0,05$  overtar den etter hvert som viktigste element. (1)



Figur 6 kilde (TBA4122, kompendium) NTNU høsten2011

Mekanismene for Varmeoverføringen i et legeme / kropp skjer hovedsakelig ved følgende tre forskjellige måter. I alle varmetransportprosesser inngår en eller flere av disse mekanismene eller i former.

1. Stråling
2. Ledning
3. Konveksjon



Figur 7 basert på data fra cookwilkie 11 (a)

Overføringen av energi som varme er alltid fra den høyere temperatur medium til den lavere temperaturen, og varme stanser når de to medier nås samme varme eller temperatur.

Hvis man holde en teskje og røre sukker i en kopp som inneholder varmt te eller kaffe, blir den andre enden av teskjeen så varm at vi kan kjenne på at teskjeen er blitt varmt. Men, hvis man holder en fyrstikk som brenner, blir det ikke noe problem å holde fyrstikken. Da, kan vi si at grunnen til dette er at teskjeen som er laget av metall er en god varmeleder, mens fyrstikken som er laget av tre er ikke en god varmeleder.

Varmeledning er et atomært fenomen. Atomene i den kalde enden av teskjeen har i gjennomsnitt mindre kinetisk energi enn atomene i den varme enden, de vibrerer seg voldsommere faktisk. Ved støt mellom naboatomer i den kalde enden av teskjeen blir energi overført fra atomer med stor energi til atomer med mindre energi, slik at de begynner å vibrere mer dermed blir energien transportert fra den varme delen av teskjeen til den kalde enden av teskjeen. (5)



Figur 8 basert data fra nett side (a)

### 2.1.4 Varmeledning

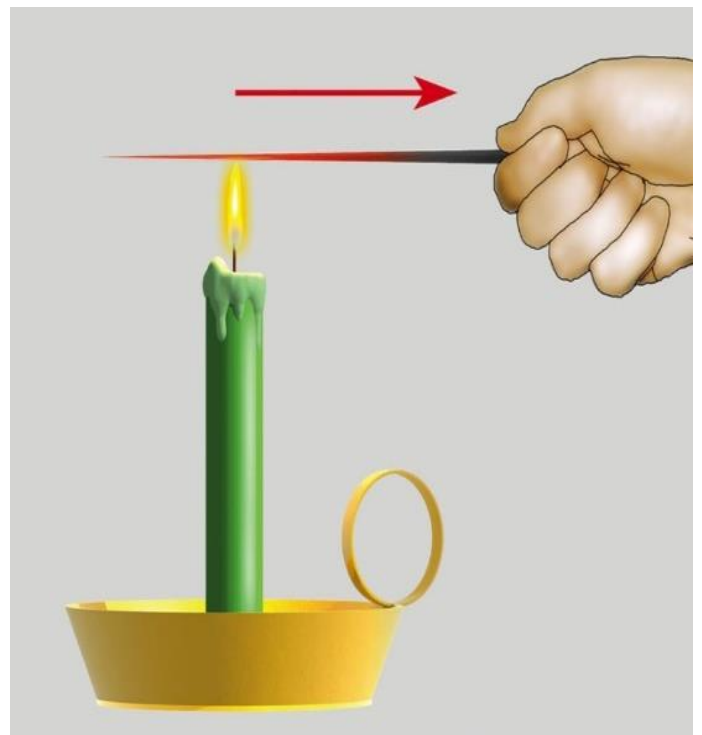
Varmeledning kan forekomme både i faste stoffer,

væsker og gasser og består i at varmenforplanter seg gjennom stoffet som molekylebevegelser.

Varmere molekyler overfører gjennom støt til merkbare endringer i den samlede varmetransporten. Varmeoverføringen i faste stoffer skjer hovedsakelig ved konduksjon ( varmeledning ) og i fluider skjer det hovedsakelig ved omrøring ( konveksjon). Når det ønskes å isolere vegger eller andre deler av et hus mot varmetap, settes det hovedsakelig materialer med de dårlige varmelednings egenskapene mot stillestående luft. Materialer som kan lede varme dårligere, sies det at materialet isolerer godt. Ull klær isolerer godt, og er derfor stor favoritt blant folket i kalde klimaet. Det sies at ull er gull. Materialer som har luft fylte huler kan isolere godt og grunnet er stilleluft som eksisterer i de hulene og

stille luft er en god isolasjon. (Cengel, 2011)

Furiers varmelednings lov er grunnlag for all beregningsmessig behandling av varmeledninger. Uttrykket med Loven er at varmefluks  $q_x$  ( $W/m^2$ ) i en gitt retning (x-retning) er proporsjonal med temperaturgradienten ( $dT / dx$ ) i denne retningen og motsatt rettet av temperaturgradienten. (6)



Figur 9 kilde (nettside C)



$$q = -\lambda \times A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Hvor:

- $q_x$  er varmefluksi ( w/ m<sup>2</sup>)
- $\lambda$  er termisk konduktivitet også kalles varmeledningsevne i ( w / (mK))
- $\Delta T$  Temperatur gradient
- $\Delta x$  er materialsjikt tykkelse

Det står en minustegnet på høyresiden av ligningen som uttrykker at varmen alltid strømmer mot synkende temperaturen. Proporsjonalitetsfaktoren  $\lambda$ (w/mk) er en material faktor som kalles varmeledningsevne eller termisk konduktivitet. Høyere  $\lambda$ - verdien for et stoff indikerer at stoffet kan lettere leder varme. Mange forskjellige materialer og stoffer har svært forskjellige Varmeledningsevner. Faste stoffer (metaller) har høyere  $\lambda$ -verdi enn væsker og gasser, mens væsker har høyere  $\lambda$ -verdi enn gasser. (10)

### Varmestrøm og varmeledningsevne

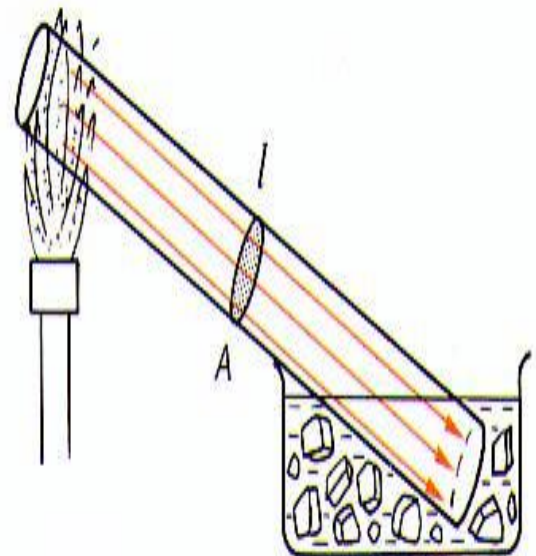
Hvis vi utsette ene enden av en metallstaven som holdes i en flamme og den andre enden av den metallstaven i isvann, blir det en kontinuerlig strøm av varme i staven. Varmestrømmen (H) kan måles som følgende.

“ En har funnet at varmestrømmen – under stasjonære forhold – er proporsjonal med tverrsnittet A og med temperaturforskjellen  $\Delta t = t_2 - t_1$ , mellom den varme og den kalde enden av staven. Dessuten er varmestrømmen omvendtproporsjonal med lenden / av staven’ (7)

$$H = \frac{Q}{t} = \lambda \cdot A \frac{\Delta t}{l}$$

Hvor  $\Delta t$  er temperaturgradient.

Proporsjonalitetsfaktoren ( $\lambda$ ) kalles varmeledningsevne.  
Og A – tverrsnittets areal



Figur 10 Kilde (Fysikk forkurs 7 Termofysikk ) nettside(b)

### Varmeledningsevne for noen stoffer

Navn	Enhet (λ /w/km)
Aluminium (rustfritt)	220
Stål	17
Kopper	380
Kull (grafitt)	5
Glass	0,800
Vann	0,60
Luft	0,025
Betong	1
Tre (gran furu)	0,12
Sponplate	0,12
Mineralull	0,036 – 0,060
Skumplat	0,036- 0,60

Tabell 1 Kilde( Heat and Mass transfer (Cengel, 2011)

I sammensatte vegger som er laget av to eller flere lag av ulike materialer og stoffer, blir det størst temperaturfall over den dårligste varmelederen. Stilleluft er en god isolasjon i seg selv og derfor kan et tynt luftlag på utsiden av veggen kan fungere som isolasjon.

### Varmegjennomgangstall (U-verdi)

Varmegjennomgangstallet som kan defineres som varmeledningsevne dividert på tykkelsen av materialet.

U-verdier for de fleste forskjellige isolasjonsmaterialer med forskjellige tykkelser finnes i tabeller. U-verdien forteller hvor mye varme som blir transportert per sekund gjennom 1 m<sup>2</sup> av materialet når temperaturfallet er 1 K. (Thue, 2014)

For en homogen konstruksjon (treplate) kan u-verdien beregnes etter formelen

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U = \frac{1}{R_i + R + R_u} + \Delta U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Hvor

$R_T$  = total varmemotstand

$R_i$  = Innvendig overgangsmotstand

$R_u$  = Utvendig overgangsmotstand

$\Delta U$  = Et eventuelt tillegg som må beregnes i hvert enkelt tilfelle.

For vegger som er vertikal og varmestrømmen er i horisontal dermed  $R_i$  og  $R_u$  kan settes lik  $0,13 \text{ w} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$  og  $0,04 \text{ w} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$  henholdsvis.

Vi kan beregne varmemotstand som følgende.

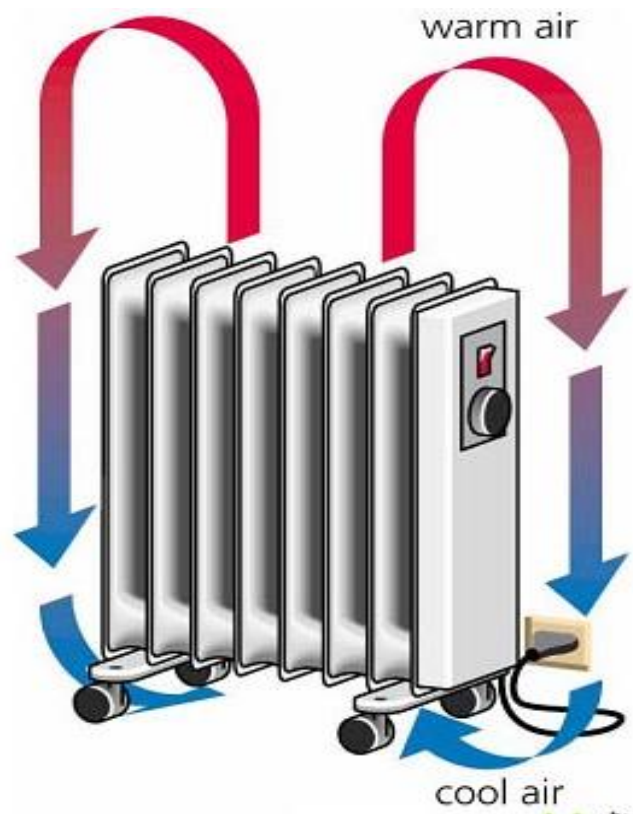
$$R = d/\lambda$$

Vanligvis er konstruksjoner består av flere typer av materialer og flere sjakter. Varmemotstand for en vegg som er bestående av n forskjellige materialsjikt beregnes som følgende.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$$

### 2.1.5 Konveksjon

Konveksjon er en av de tre varmetransport mekanismene som foregår i væsker og gasser. Væsker og gasser er dårlige varmeledere, derfor ledning spiller en liten rolle for varmetransporten. I slike stoffer (væsker og gasser), konveksjonsvarmetransporten er dominerende over alt. Ved Konveksjon varmetransporten kan vi si at varm væske eller gass flytter seg eller strømmer. Når luften varmes opp vil den da stige opp, og kaldere luft som er rundt liggende vil strømme til. Fersk kaldere luften blir varmet opp igjen og ville stige opp til værs. Deretter blir luftsirkulasjon eller luftbevegelse og det vil innføre til energitransporten. For å oppnå nærmere null konveksjon, prøver mange av moderne isolasjonsmateriale produktsselskaper,bedrifter å framstille sånn isolasjonsmaterialer av små, tette celler hvor luften eller gasser ikke slipper ut. Fler tallet av de moderne isolasjonsmaterialene produseres på denne måten.



Hoved likningen for konveksjonen er som følgende. *Figur 11* Varmeroverføring gjennom konveksjonen, nettside (b, C) (Cengel, 2011)

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

Hvor:

$q''$  - lokal varmefluks

- $h$  - lokal konveksjonskoeffisient
- $T_s$  - overflatetemperatur
- $T_\infty$  - omgivelse temperatur

Konveksjonelle varmeoverføringen skjer hovedsakelig i to former (1. Naturlig konveksjon eller frikonveksjon og 2. Påtvunget konveksjon) og begge former blir forklart i kortformer her som følgende.

### Fri konveksjon (Naturlig konveksjon)

Naturlig konveksjon er en form av varmeoverføring.

Varmeoverføringen skaper en syklus som kalles

Konveksjonsstrøm hvor en varm væske blir erstattet av en kjølere en (væske). Vi vet at alle væsker og stoffer er laget av små byggeklosser som kalles atomer, og atomer lager molekyler. . Bevegelsen av disse molekylerne Forårsaker stigning og fallning av væsker eller temperatur variasjoner. (Cengel, 2011)

Mange av jordens naturlige systemer kan forklares ved hjelp av naturlig konveksjon. Havstrømmer og det atmosfæriske lafet kan nevnes som eksempler.

Varmetransportens fluks fra en fast /solid overfalte

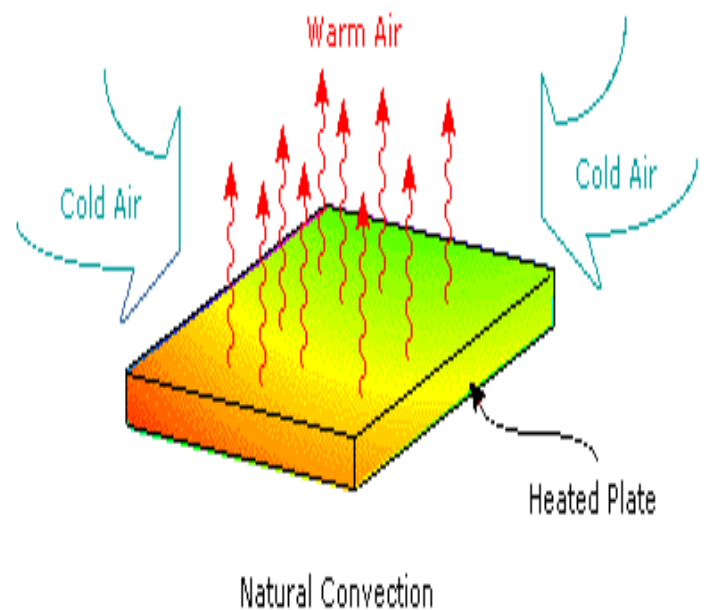
ved en likefrem/jevn temperatur til det omgivende

væske / fluid ved fri-konveksjonen kan uttrykkes ved hjelp av Newtons lov av, avkjøling.

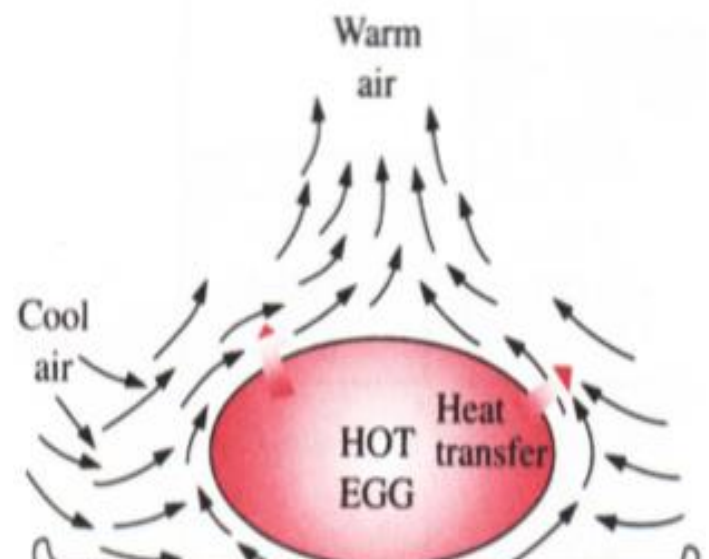
$$Q_{conv} = h \times A_s (T_i - T_u) \dots (W)$$

Hvor  $A_s$  er varmeoverføringsoverflateareal,  $h$  er den gjennomsnittlige varmeoverføringskoeffisienten på overflaten, og  $T_i - T_u$  er temperatur gradient .

Avkjøling av en oppvarmet egg i åpent natur kan være et godt eksempel på fri-konveksjon eller naturlig konveksjonen. (Cengel, 2011)



Figur 12 Illustrasjon av frikonveksjon kilde (Google nettside (b,C))

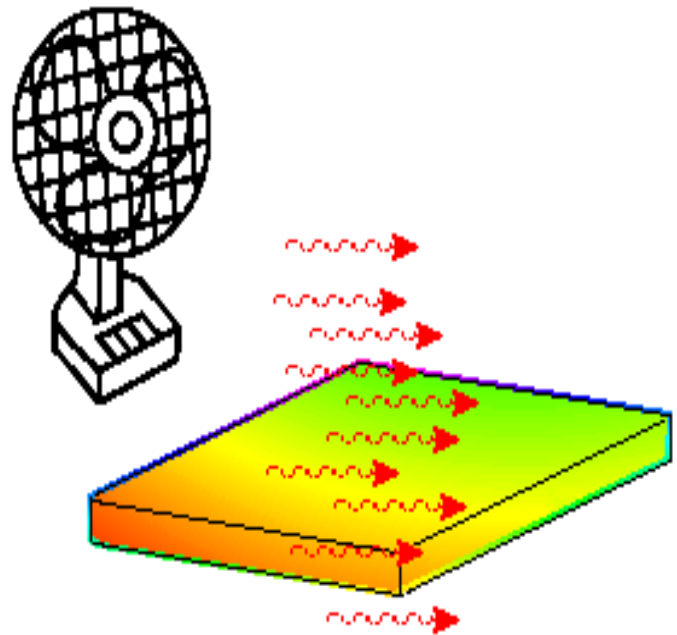


Figur 13 Kilde (heat and Mass transfer bok)

### Påtvunget konveksjon

Generelt kan vi si at effekt av varme fra en reise væske eller gass på en gjenstand kan beskrives av Konveksjon. Det kan være korrekt eller kan man si at tvang konveksjon er motsatt av fri konveksjon.

Strømmen av væske eller gass i tvang konveksjonen blir forbedret eller skapt kunstig. I denne type konveksjonen bruker vi hovedsakelig, vifter og pumper for å tvinge gasser og væsker henholdsvis. Hvis man sammenligner frikonveksjon med tvangskonveksjonen, blir det lettere å si at tvangskonveksjonen fungerer ofte raskere enn standard frikonveksjon. For eksempel hvis man ønsker å smelte en isbit med varmt vann. En isbit vil smelte naturlig i et varmt vann rolig og vil ta mye tid til det smeltes til vann. Grunnen er at naturlig konveksjon vil resultere i at vannet rundt isbit blir kjøligere og ha mindre effekt ved smelting av isbiten som prosessen skrider frem. Hvis man heller varmt vann over isbit kontinuerlig, ville vannet ikke fryse og isbiten ville smelte mye raskere. (Cengel, 2011)



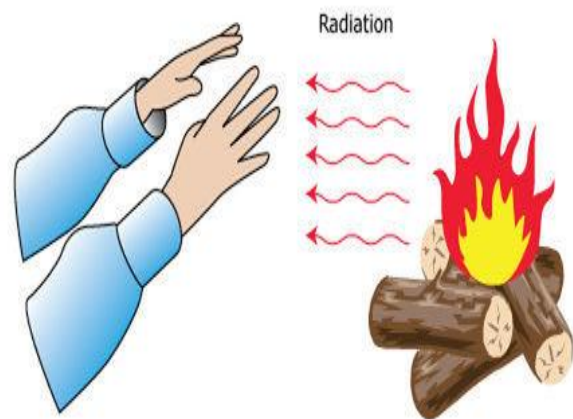
Figur 14, Påtvunget konveksjon

Varme konveksjons effektivitet er avgjort eller bestemt av mange komponenter.

- Eksponerte område av overflate som skal oppvarmes
- Hastigheten til konveksjons- og strømmen
- Forskjellen i temperatur
- Tykkere gasser og væsker er hovedsakelig mer effektive ved varmeoverføring

### Varme transport ved stråling

Varme stråling er en av de tre varmetransport mekanismen som kjer i alle legemer i mindre eller større grader. Elektromagnetisk bølger som sendes ut fra et legeme kalles elektromagnetisk stråling. Alle elektromagnetiske strålinger transporterer med seg energi. Vi kan kjenne tydelig strålingen fra en fyr plass eller perfekt varm peis på huden vår. Når vi drar på tur og føler oss kald, da tenner vi ofte fyr og holder hendene våre nær bålet eller fyr, etter en stund kjenner vi varmen som blir transportert gjennomstråling. Vi vet at kroppen vår sender også ut stråling. Kroppen vår har en temperatur på omtrent 37 C°, og når en objekt eller en gjenstand har høyere temperatur, kjenner vi varmestrålingen fra omgivelsene, og i sånn tilstand absorberer kroppen vår mer energi enn den sender ut. (Cengel, 2011)



Figur 15 stråling (university of Waikato, 2009 (b))

Temperatur har en sterkt effekt på den totale utstrålte effekten. Strålingen endrer effekten med økende temperaturer. For eksempel. Hvis vi varme opp jern til ved 500 C°, blir jernet rødgjødende. Og, hvis vi øke temperaturen til 1000 C° blir det gult eller lyser jernet gult. Og, hvis vi øke temperaturen enda mer til 1500 C° blir jernet mest hvitt. Da, kan man si at ved høye temperaturer blir noe av varme strålingen synlig lys.

Alle flater har forskjellige absorpsjonsgrader. Derfor når varmestrålingen treffer en husvegg, en annen flate eller huden vår blir noe av energien i strålingen absorbert og noen reflektert tilbake. Lyse og blanke flater reflekterer det meste av energien og absorberer det minste, mens svarte og mørke flater absorberer det meste delen av energien og reflekterer det minste delen.

Det er en vist sak at legemer som absorberer godt, også stråler ut mye energi. For eksempel, hvis man sammenlikne den utstrålte effekten fra to like store flater (en lys og en svartmalt eller mørkmalt flate) som har like temperaturer, finner man at de svartmalte og mørkmalt flater sender ut mer energi enn den lyse flaten henholdsvis. Den samme regelen gjelder også bygninger. Et hvitmalt hus absorberer mindre av solstråling i en varm sommerdag og mister også mindre av energien ved stråling i en kald vinternatt, mens et svartmalt eller mørkmalt hus absorberer det meste delen av solstråling i en varmt sommerdag og mister mye av energien ved stråling i en kald vinternatt. (7)

Strålingsvarmeeffekt som avgis fra en gjenstand er gitt av

$$\dot{Q} = \varepsilon \sigma A \cdot (T_s^4 - T_\infty^4) \text{ (W)}$$

Hvor:

A -er gjenstandens overflates arealet

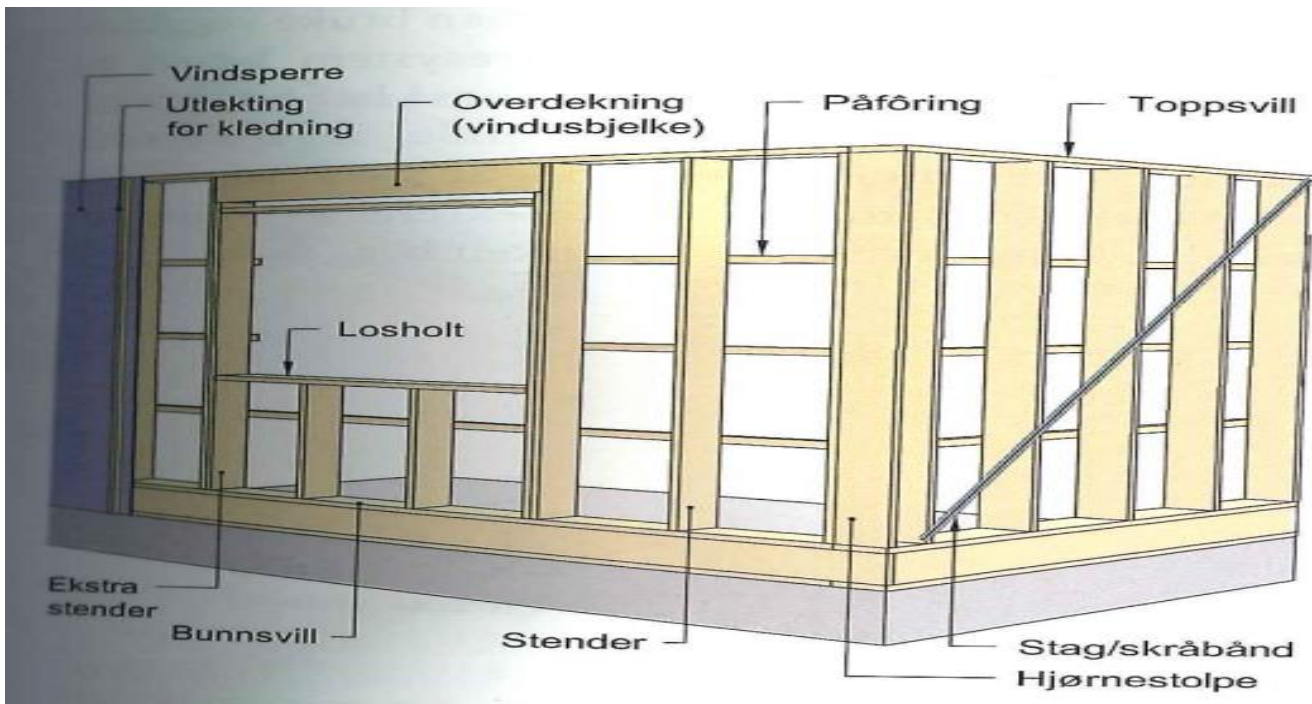
$T_1^4$  og  $T_2^4$  - er den absolutte temperaturen i kroppen og den absolutte temperaturen i omgivelsene henholdsvis i K.

σ er Stefan Blotmannskonstant=  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

ε =er en materialavhengig konstant; gjenstandens Emissivitet ( $0 < \varepsilon < 1$ ) altså et mål for hvor effektiv gjenstanden er som temperaturstråler . Dessuten, ε er et mål på hvor godt flatene tilnærmer karaktertrekkene til et mørk flate. (Cengel, 2011)

## 2 Veggkonstruksjoner

I Norske trehus standard, konstruksjonssystem for allevegger er basert på bæresystem på bindingsverk med stendere som plasseres i 600 mm c/c (4) i avstand innimellom. For å oppbygge en vegg må man holde stenderne sammen i topp og bunn med sviller. Veggens rammene (bindingsverket) utstyres og leveres med forsterkninger rundt åpninger til dører og vinduer. Det finnes påføringer på markedet som kan brukes til ekstra varmeisolasjon i yttervegger. Det finnes utlektinger for kledning og horisontal avstivning for yttervegger i veggplanet med plater eller skråbånd henholdsvis. Følgende figuren forklarer en standard vegg konstruksjonssystemet. (Ramstad, 2014)



Figur 16( Trehus Håndbok Sintef byggforsk

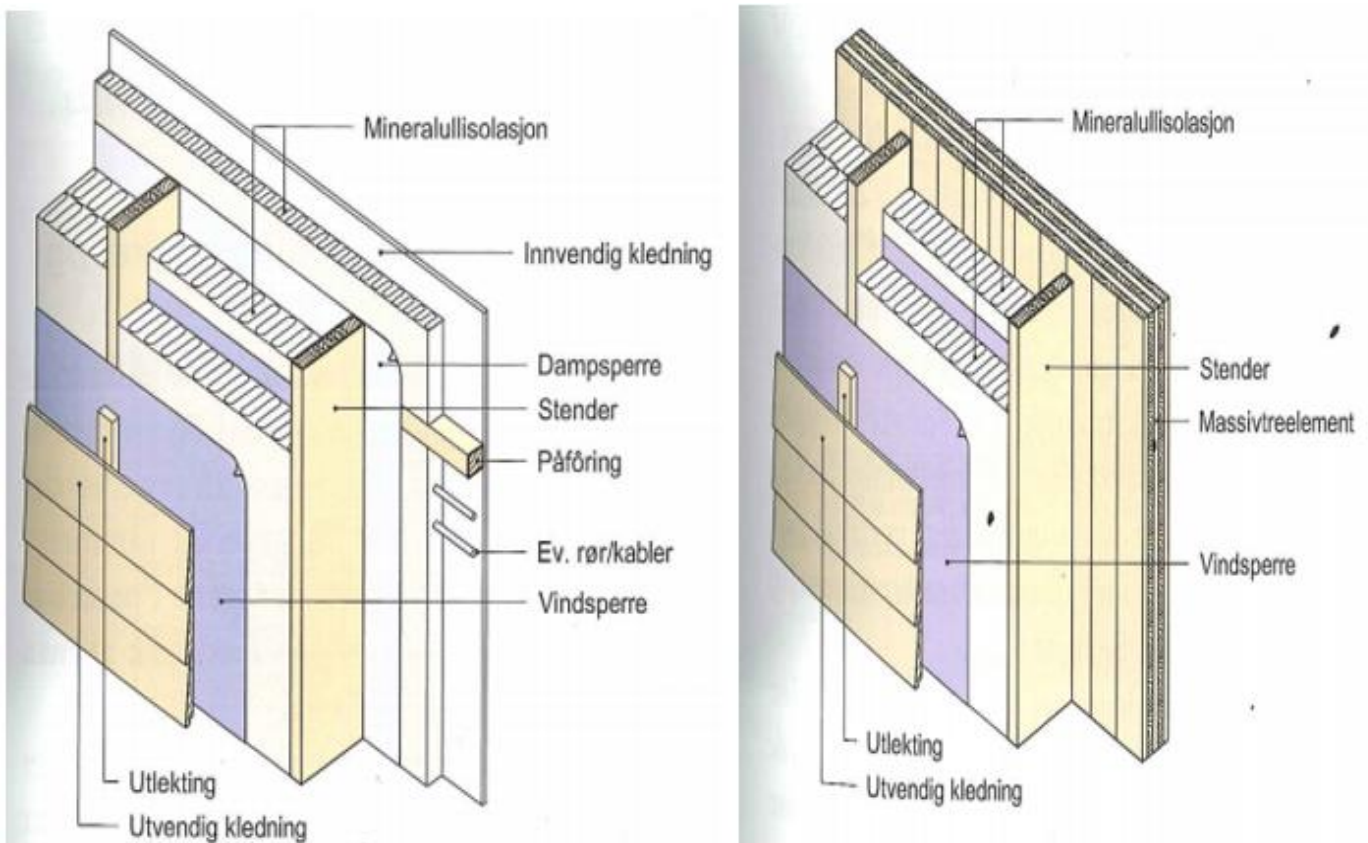
Som regel vegger som belastes vertikalt fra takkonstruksjonen, og overliggende etasjeskiller henholdsvis, beskrives som bærevegger. Skillevegger som brukes i store grader innvendig for partisjonsmål eller for å skille en del fra den andre delen kalles som lettvegger. De fleste av skilleveggene er ikke bærende vegger. Ikke bærende skillevegger mellom to isolerte boenheter, og andre skillevegger der det er behov til både brannmotstand og lydisolasjonsegenskaper, bygges opp normalt som to separate bindingsverksvegger. (Ramstad, 2014)

### 3.1 Yttervegger

Følgende figur (12) viser standard oppbygning av en standard, isolert yttervegg med bindingsverk. Figuren (12) viser en detaljert utførelse av hvert enkelt sjikt av yttervegg som er laget av massiv tre elementer.

En av de viktigste prinsippene av vegg oppbygningen er at utvendig kledning skal være lufttet. Det vil gjerne si at den skal ha et stadig eller kontinuerlig luftlag på baksiden som er både drenert og ventilert. Det er på grunn av at slagregn som trenger gjennom kledningen fra utsiden samt bygg fukt som kommer fra innsiden kan lett tørkes ut. Som regel er det nødvendig at, veggen må ha en lufttett vindspærre på utsiden og en lufttett dampspærre på innsiden av varmeisolasjonen for å forebygge luftlekkasjer. Luftlekkasjer er uøkonomisk i et system, for det første er det luftlekkasjer som fører til ekstra varmetransport gjennomveggen som vanlig kalles varmetap, og for det andre forårsaker den både ubehagelig trekk og vanddampkondens i bygningen. (Ramstad, 2014)

Det er en viktig poeng at vindsperra skal være mest mulig åpen for vandampdiffusjon, slik at overskytende byggfukt i bindingsverket kan slippe løs ut samt vindsperra må være tilstrekkelig kraftig til å tåle fuktpåvirkninger fra utsiden. Dampsperra som er nødvendig i henhold til standard veggkonstruksjonen må monteres etter plassering av isolasjonsmaterialer i vegg. Den skal være nok tett imot vandampdiffusjon til å forebygge at vandamp fra innelufta kan kondensere inne i veggstrukturen. Det ville være hyggelig å legge merke til at elementer av massiv tre trenger vanligvis ikke et eget dampsperrsjikt i tillegg for ekstrabeskyttelse. (Ramstad, 2014)



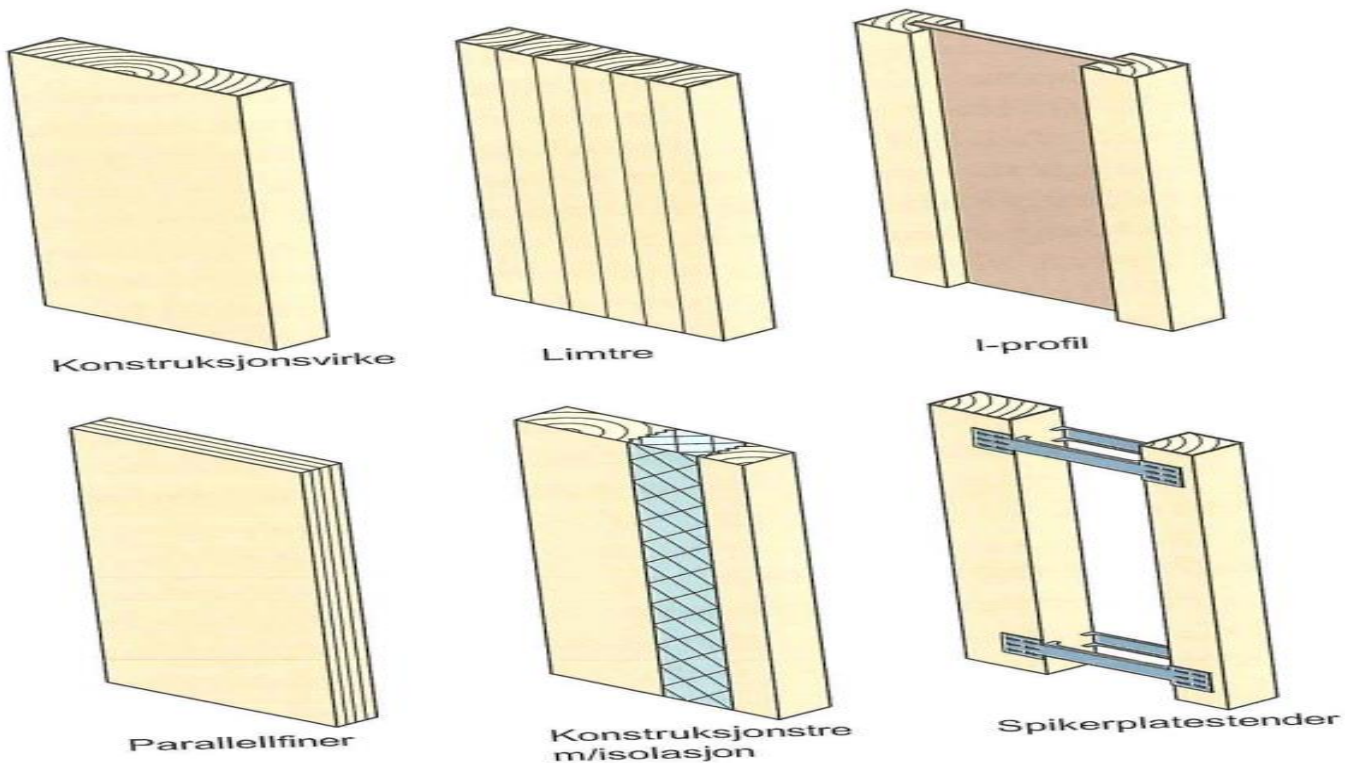
Figur 17 Kilde (Trehus Håndbok Sintef Byggforsk)

## Stendere og sviller

Når det handler om yttervegger av bindingsverk til et velvarmeisolerte småhus, kontrolleres valg av stendertype og formater mer av krav for isolasjonstykkelse enn av nødvendig bæreevne. I følgende figurene kan finnes noen aktuelle stendertyper som brukes mye i praksis. Stenderne utleveres og finnes i markedet i flere diverse formater. For å tilfredsstille det normale isolasjonsbehovet må stendere-dybden være ca. 200mm eller mer enn det. (Ramstad, 2014). For bygninger som er bygget opp i henhold til passive hus standarden, må man normalt bruke minst 300 mm totalt mineralulltykkelse. Da kan man si at 250 mm eller 300 mm (Ramstad, 2014)dype stendere som er levert med innvendig isolert påføring mest aktuelt. I henholdt til standarden finnes det stenderbredder på 36 mm og 48 mm. Det skal være flott å merke at, hvis man skjøte bygningsplater direkte på en stender, anbefales det å bruke 48 mm vidde eller bredde stender. I tillegg er det lurt å bruke til topp og bunnsviller det samme produkt som man bruker for stendere. I bygninger som er bygget opp i bindingsverk med stendere av I-profiler eller skrå eller spikerplatestendere blir også vanligkonstruksjonsvirke eller spesialprofiler brukt som bunnsviller. Det finnes og leveres i markedet både limtre og andre stendertyper i mange forskjellige produkter med formater som tilpasset bruk i trehus. (Ramstad, 2014)



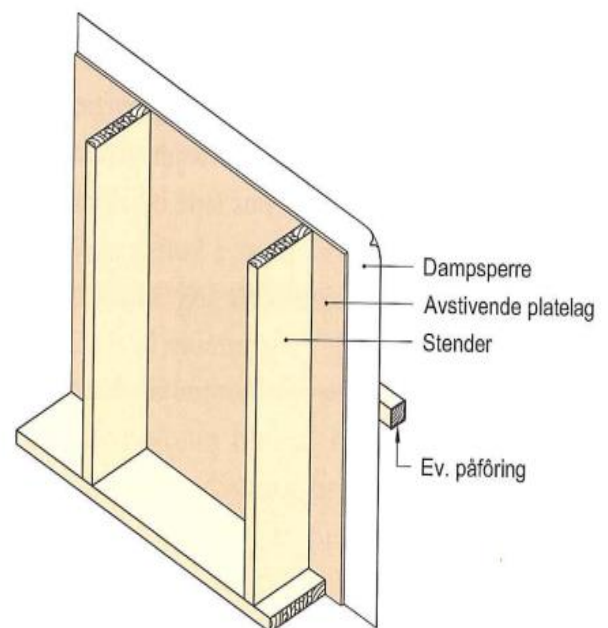
I følgende figurene kan vi se på noen av de aktuelle stendertyper for isolerte yttervegger.



Figur 18 Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk) (Ramstad, 2014)

### Prefabrikkerte elementer eller moduler

Husbyggere eller boligbygging selskaper som produserer prefabrikkerte vegger eller deler av prefabrikkerte moduler, bygger de vanligvis produktene på samme type bindingsverk som i plassbygde konstruksjoner. Produktene blir produsert med formater som er tilpasset det bestemte huset, og dimensjonen reduseres primært av de foreliggende eller den aktuelle transporten og montasjeringsanledningene. Det er viktig at lange veggelementer og moduler må ha tilstrekkelig stivhet på grunn av at produktene skal kunne heises i monterings eller i montasjerings perioden. For å gi elementene ekstra stivhet i veggplanet, er det lurt å plassere minst 10 mm (Ramstad, 2014) trebaserte plater (OSB- spon eller kryssfinerplater) på innsiden av bindingsverket. Følgende figuren viser bindingsverksvegg med ekstra platelag på innsiden for avstivning i veggplanet.



Figur 19 Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk)

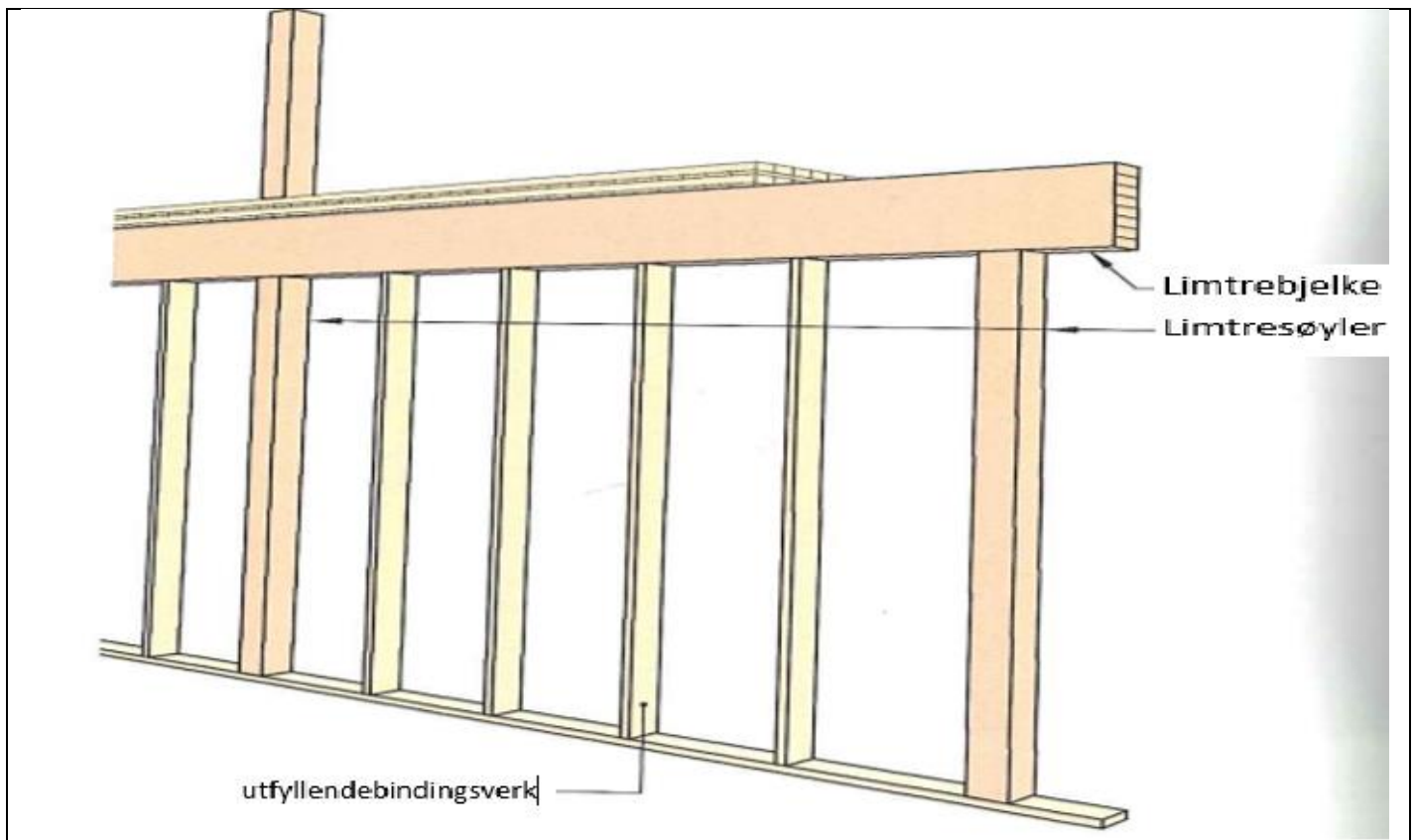
Fordeler med prefabrikkerte veggelementer for yttervegger kan være at produktene gir en vesentlig kvikkere eller raskere lukking av bygget enn plassbygging, og dermed mindre byggfukt som er en god positiv poeng i bygningsprosess. Prefabrikkerte veggelementer produseres med mer dimensjonsnøyaktige. (Ramstad, 2014)

## Massivtre

Veggelementer som blir lagd av massiv tre elementer er et alternativ til bindingsverket og produktene brukes til bygninger med flere etasjer på grunn av at massiv tre elementer har stor bæreevne og god brannmotstand. Massivtre-veggelementer blir brukt mest i bygnings fremgangsmåter der også etasjeskiller og tak bygges opp med massivtre-elementer. Produktene kan brukes til utkragede vegger på grunnen av produktshøy stivhet i veggplanet. (Ramstad, 2014)

## Søle eller bjelkesystemer

I boligkomplekser eller i boligblokker med mer enn tre etasjer kan perpendikulære og vannrette laster bli større enn det vanlige bindingsverksvegger kan tåle eller kan ta alene, og det samme gjelder for brede konstruksjoner og bygninger som er blitt bygd med stor takkonstruksjonsspennvidder. Da kan man bruke veggkonstruksjoner med et hoved bæresystem basert på relativt store limtresøyler, som også har høy brannmotstand. Da er det lurt å bruke veggkonstruksjoner med et hoved bæresystem som er basert på relativt store limtresøyler, som må også ha monden brannmotstand. (Ramstad, 2014)



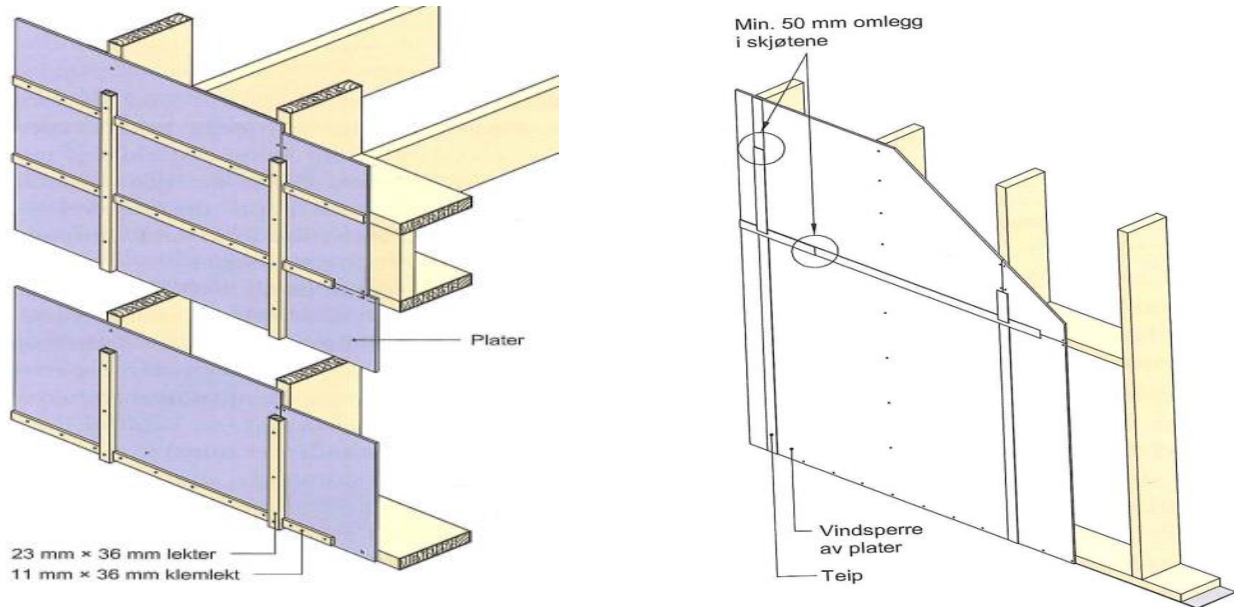
Figur 20 Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk)

Prinsipp for yttervegger basert på store limtresøyler. Limtrebjelke , Limtresøyler , utfyllendebindingsverk

## Vindsperre

Konstruksjonen av yttervegger består av en vindsperrisikt på den utsiden av varmeisolasjonen som skal være både lufttett, vannavvisende og passelig åpent for fuktighet gjennomgangen. En av de viktigste oppgaven av vindsperre i ytterveggen er at det må hindre infiltrasjon av utluft i varmeisolasjonen som svekker effekten av den. Dessuten vindsperra skal være vannavvisende fordi det alltid måventes at noe vann kan trenge inn bak veggkledningen og

dråper nedover vindsperra når ytterveggen usettes for slagregn. Faktisk vindsperra må være som beskyttelse mot regn, snø og slagregn i konstruksjonsnivået. Utførelsen av vindsperra kan i forskjellige rullprodukter og plateprodukter. Rullprodukter kan finnes og leveres i store dimensjoner som gir lite med skjøter, men de er mindre kraftige enn platekledninger. (Ramstad, 2014)



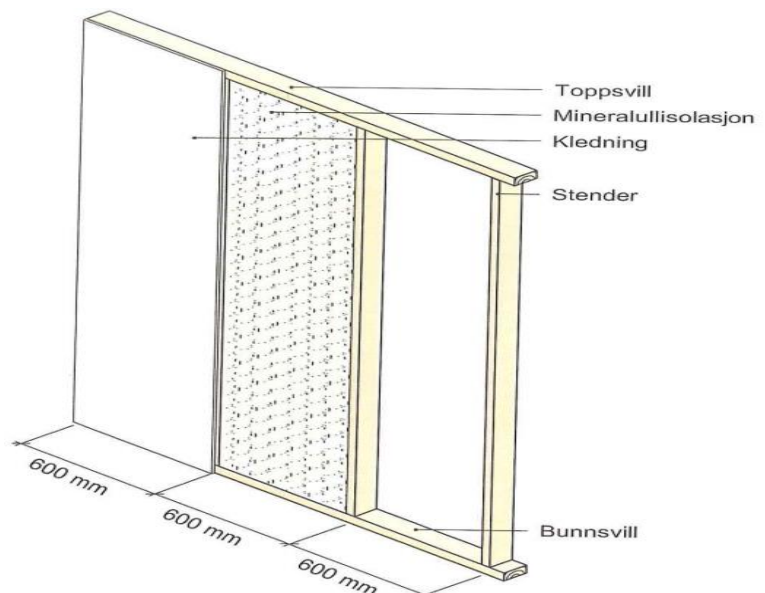
Figur 21 Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk)

### Dampsperra

Dampsperra brukes i konstruksjon av yttervegger for å beskytte veggen fra luftlekkasjer som fører til varmetap. Dampsperra må monteres tilstrekkelig tett mot vandampdiffusjon, slik at det ikke begynner kondens og anledninger for sopp og muggvekst i konstruksjonen av vegg som følge av at vandampen i innelufta skiller utover i veggen. Utførelsen av dampsperra blir gjort av 0.15 mm tykke polyetylenfolie i en bredde som dekker normal etasje høyde. Materialet må være dokumentert bestandighet og foliekvalitet som skal være beregnet for bruk som dampsperra. I monteringsprosessen av dampsperra må alle skjøter og endepunkter mot tilstøtende deler av bygningen må være kontinuerlig oppfyller mellom to flate og bestemte lag for å sikre akseptabelt lufttetthet. I henhold til standard dampsperra må plasseres på innvendig side av varmeisolasjonen. (Ramstad, 2014)

### 3.2 Innervegger

Prinsipiell oppbygning oppbygningen av skillevegger blir gjort vanligvis med stendere og sviller av konstruksjonsvirke, isolasjon og kledning, som er vist i følgende figuren.



Figur 22 Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk)

## Bindingsverk

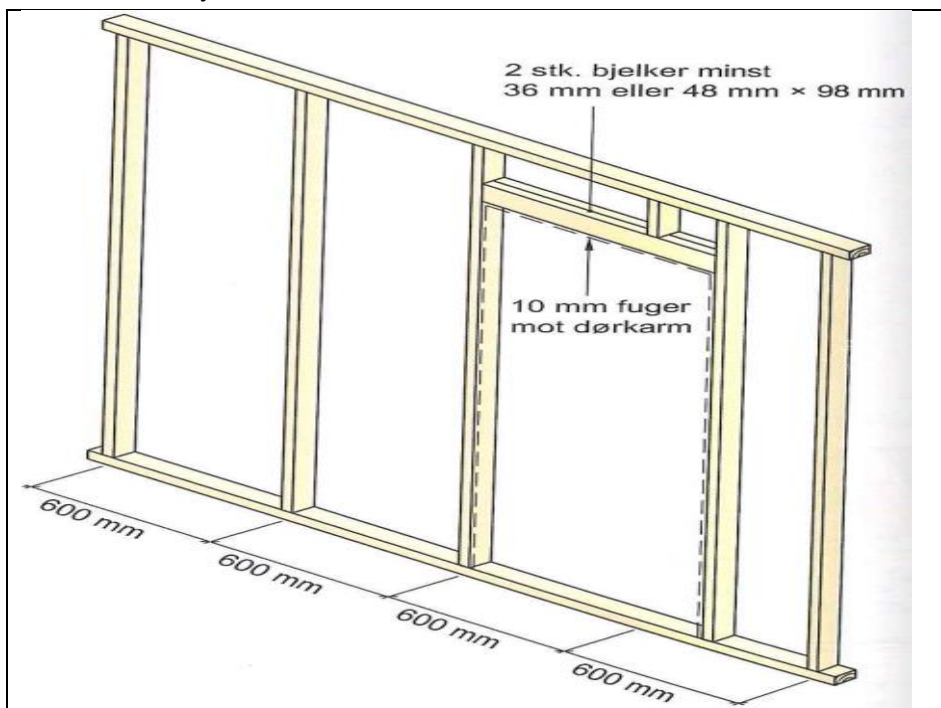
Innerveggers bindingsverk blir vanligvis laget av konstruksjonsvirke i fasthetsklasse minst C18, med stendere inndelt i distanse av c/c 600 mm. Det finnes og leveres forskjellige sorter sammen limt trevirke til stendere. For å gjøre det sikre og akseptabelt flathet og rett het, samt tanke på montering av inventar og skap, bør man binde fast bindingsverket på sann måte at man får tak i toleranseklasse PB og RB for henholdsvis flat het og retningsmarginer til ferdigvegg. Ikke-bærende vegger som ikke holder bjelkelag eller takkonstruksjon, anbefales kommende formater og dimensjoner som minimum dersom det ikke gjøres noe spesielle beregninger. (Ramstad, 2014)

- Romhøyde 2,4 m: 36 mm x 73 mm
- Romhøyde 2,7 m: 48 mm x 73 mm
- Romhøyde 3,0 m: 48 mm x 98 mm

Det ville være bedre å si at vi skal ikke ta i bruk stendere som er smalere enn 68 mm, som er tilpasset vanlig dørkarmål. Dette er på grunn av veggens fasthet samt for å unngå pinefull rystelser ved lukking av dører (4). Som regel for bærende vegger i boliger og småhus er 48 mm x 98 mm stendere akseptabelt ved romhøyde med 2,4 m, men bærekraften må kontrolleres med en kalkulering eller beregning i hvert enkelt hendelse dersom bæreveggen styrker takkonstruksjonen, eller når vegghøyden er større enn ca. 2,4 m. (Ramstad, 2014)

Følgende standardformater er akseptabelt for boliger og småhus med vegghøyde ca. 2,4m:

- Stenderdimensjon 48 mm x 73 mm  
Understøttelse av ett mellombjelkelag
- Stenderdimensjon 48 mm x 98 mm  
Understøttelse av to mellombjelkelag  
Stenderdimensjon 48 mm x 148 mm



Figur 23 Kilde (Trehus Håndbok Byggforsk) (Ramstad, 2014)

### 3.3 Varmeisolasjon

Varmeisolerings prosessen av yttervegger gjennomføres vanligvis med varmeisolasjonsmaterialer som glassull eller steinull i form av matter, plater eller i ruller. Flere varmeisolasjonsmaterialer er kommet til å bli forklart i miljøvennlige materialers seksjon. Isolasjonsmaterialer er porøse og har store volum, derfor mineralull materialet blir komprimert i plastemballasje for å redusere transport volumet.

Nødvendig veggdimensjonen blir bestemt av den varmeisolasjons tykkelsen, og avhenger av enkelt behov til ytterveggenes varmegjennomgangskoeffisienten, U- verdi, og varmekonduktivitet av mineralullas,  $\lambda$ . Mineralull kan finnes på markedet i forskjellige sorter og kvaliteteter med beregnende varmekonduktiviteter i intervallet av 0.033-0.037 w / (m<sup>2</sup>K). Følgende tabell viser U-verdi for normale bindingsverksvegger med forskjellige isolasjonstykkelser.

Total mineralulltykkelse mm	U-Verdi W/(m <sup>2</sup> K)		
	Mineralullkvalitet		
	$\lambda=0.033$ W/(mk)	$\lambda=0.035$ W/(mk)	$\lambda=0.037$ W/(mk)
150 mm	0,25	0,26	0,27
200 mm	0,2	0,2	0,21
250 mm	0,16	0,17	0,17
300 mm	0,14	0,14	0,15
350 mm	0,12	0,12	0,13
400 mm	0,1	0,11	0,11

Tabell 2 Kilde (Heat and Mass transfer) (Cengel, 2011)

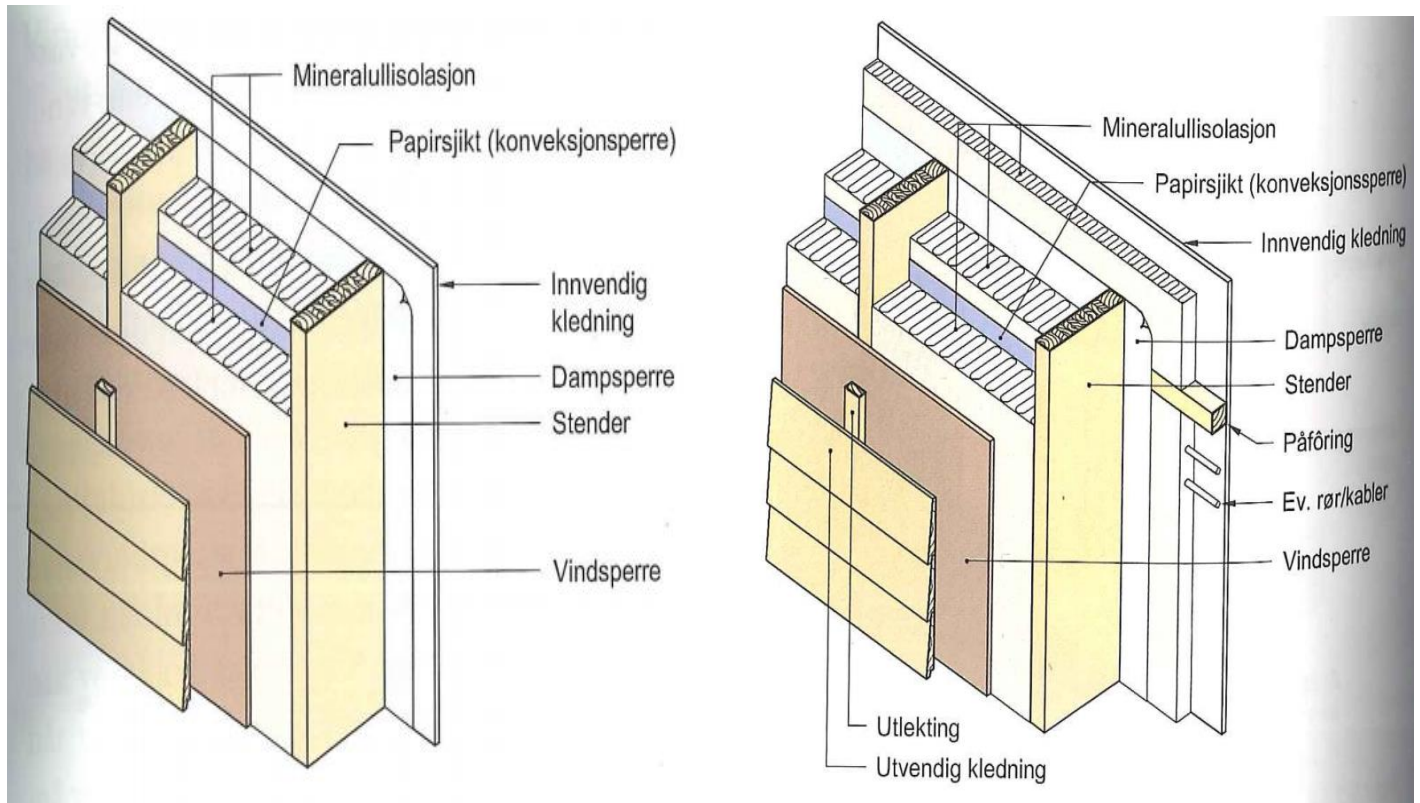
Tabellen blir brukt opprinnelig for å ha kontroll på behov av U-verdi og energitiltak i henhold til TEK. Yttervegger i konstruksjoner som blir varmt opp til vanlige inne oppvarming, er anbefalt å ha en u-verdi på maksimalt (0,18 w / (m<sup>2</sup>K) når veggene må tilfredsstille energitiltak i lovbestemmelse om tekniske behov til bygninger eller bygningsverk (TEK / byggeteknisk forskrift). Det behøver en total tykkelse av mineralull på ca. 250 mm (3). Termisk ledningsevne til noen stoffer er gitt i følgende tabell

Egenskaper av bygningsmaterialer ved en gjennomsnittstemperatur på 24 C °							
No	1	2	3	4	5	7	8
	Stoffer	Tykkelse L mm	Densitet / tetthet , kg / m <sup>3</sup>	termisk ledningsevne/ varmeledningsevne i KJ / kg x K	Spesifikk varme KJ / Kg x K	R ( L / K ) i K x M <sup>2</sup> /w	Bemerkninger
2	Asbestsementplater	6 mm	1922	0,545	1	0,011	
3	Gipsplater	10 mm	800	0,017	01,09.2016	0,057	
4	Gipsplater	13 mm	800	0,17	1,09	0,078	
5	kryssfiner	6 mm	545	0,12	1,21	0,055	
6	kryssfiner	10 mm	545		1,21	0,083	
7	kryssfiner	13 mm	545		1,21	0,11	
8	Isolasjon bord	13 mm	288		1,3	0,232	
9	Cellular glass		136	0,055	1		
10	Mineralfiber	50 to 70 mm	4,8 til 32		0,71-0,96	1,23	
11	Glassfiber		64-144	0,036	0,96		
12	Kork		120	0,039	1,8		
13	celluloseisolasjon		37-51	0,039-0,046	1,38		
14	Bomull		0,04				
15	Luft		0,024		1.005		

Tabell 3. Kilde ( Heat and mass transfer. basert på Yunus A. Cengel.AfshinJGhajar) (Cengel, 2011)

Hvis man ved omfordeling av energiltak begrenser eller limiterer behov til maksimalt varmeoverføring i andre deler av konstruksjonen, kan ytterveggene ha en u-verdi opp til  $0,22 \text{ w / (m}^2\text{K)}$ , og ca. 200 mm tykke tilsvarende mineralullisolasjon. Boliger, småhus, alminnelige bygninger som blir bygd i henhold til passiv hus standarden, må ha en U-verdien på maks  $0,15 \text{ w / (m}^2\text{K)}$  og tilsvarende ca. 300 mm mineralulltykkelse. (Ramstad, 2014)

I henhold til standard plassering av isolasjonen er visst som følgende i figurene.

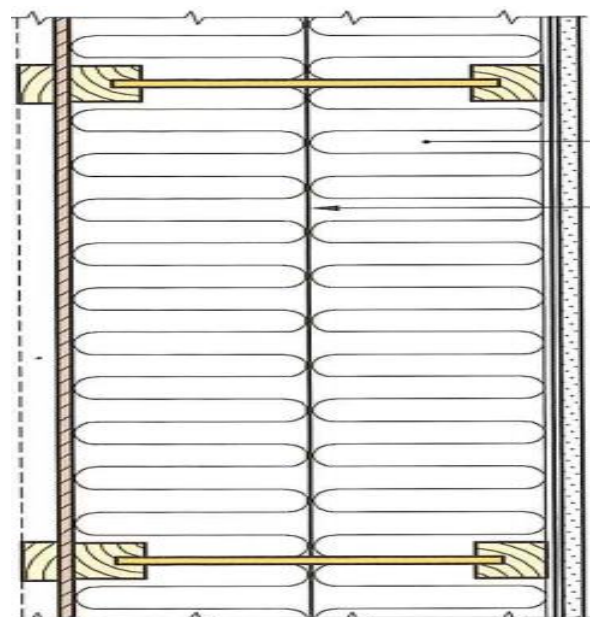


Figur 24. kilde (Trehus Håndbok Sintef bygg forsk)

Viser plassering av varmeisolasjonen i yttervegger av bindingsverk med innvendig påføring samt bygning eller konstruksjonen av yttervegger med gjennomgående stendere henholdsvis.

Plassering av isolasjon med mineralull som er tilpasset vegger med stendere.

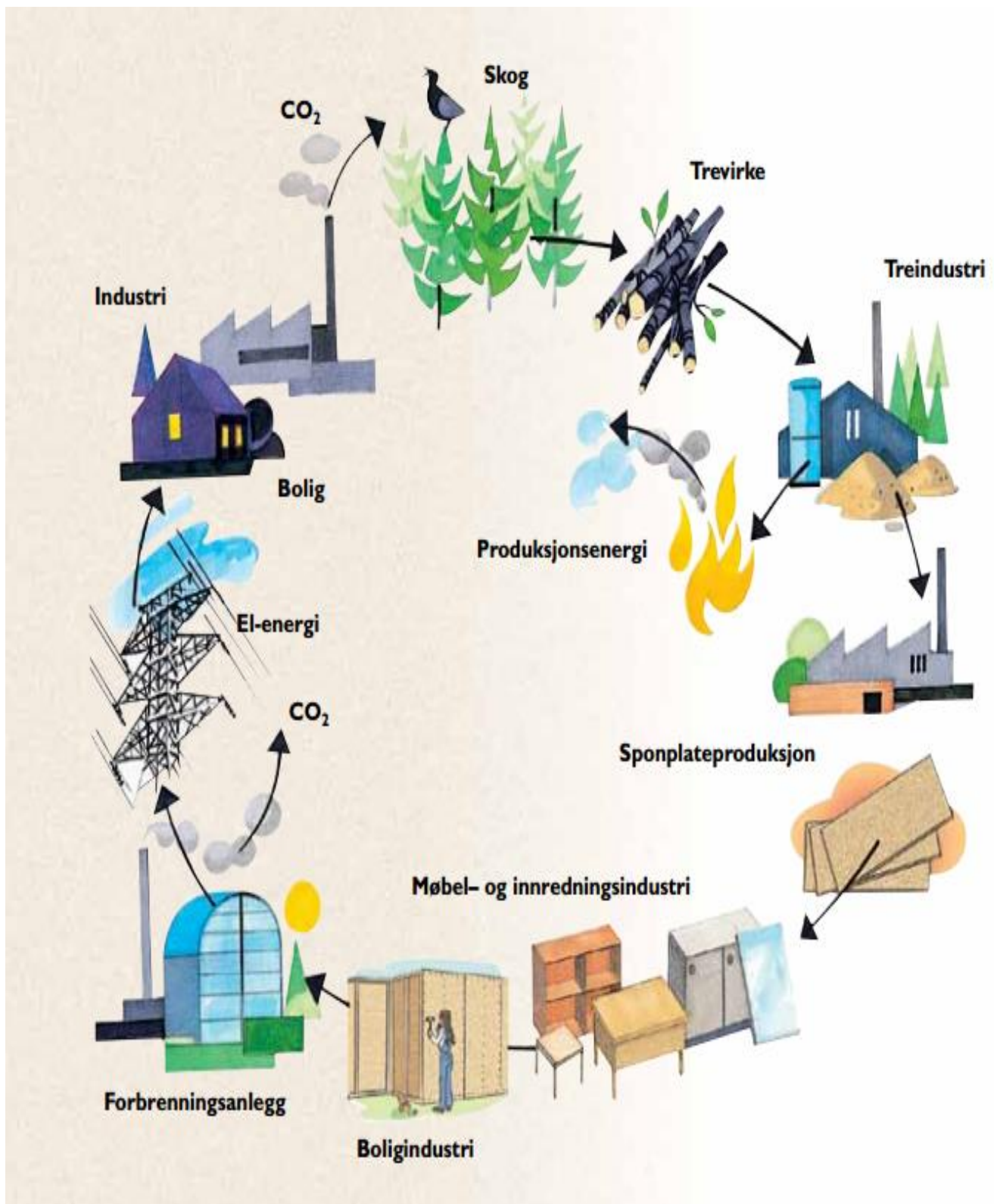
Standard størrelsen på isolasjonsplater (mineralullplater) og ruller er 570 mm for trevegger, som greier for 36 mm og 48 mm stendere (Ramstad, 2014). Det er viktig å vite at hvis isolasjonstykkelse er over 200 mm, da bør man montere mineralull i to lag for lettere å forsikre seg om at mineralulla fyller helt ut i hjørner og sammenlignende. Yttervegger som er blitt laget med stendere av I-profiler leveres og kan finnes mineralullplater med tilpasset kantprofilering. (Ramstad, 2014)



Figur 25.kilde (Trehus Håndbok Sintef byggforsk)

## 4 Kapittel 2

### 4.1 Miljø Vennlige materialer



Figur 26. Trebaserte Miljøvennlige materialer

#### 4.1.1 Tre baserte plate materiale

Mennesker har brukt tre baserte plater i livet sitt i mange forskjellige områder. Fra gammelt av ble tret brukt som hjelpemiddel for å jakte, byggehus, båter og forsvare seg selv mot vilddyr. Nomadiske folkeslag brukte tre for å bygge hus eller bygninger når huler og (rock-overheng) fjellformasjoner ikke var tilgjengelig. Siden denne tiden tømmer har vært en integrert del av menneskeliv. Treverket har ikke bare vært brukt for å bygge bygninger eller hus, men det var også avgjørende i utvikling av verden. Treskip, vogner og sleder er gode eksempler, som var bygd av treplater. Det finnes noen langt hus og longskip fra vikingtid som er laget av treplater.

Vi bruker tre plater i stor grad å bygge bygninger enten det er til innvendig eller utvendig vegger, tak, innvendig gulv og til andre snekkerarbeid. Tre baserte plater brukes i like stor grad i innredning og oppussing også. Treplatene finnes i mange typer og i en rekke fremstillingsformer. Sponplater, OSB-plater, trefiberplater og kryssfinerplater er hovedsakelig tre baserte plate materialer som er mest brukt materialer i nåtiden (nylig). Platene produseres mest av barte vike (soft Woods), men også løvtre brukes i noen grad som råstoff. (Bjørn Normann Sandaker)

Tre plater og tre-basert plater oppfattes som miljøvennlige materialer på grunn av:

- Høy grad av råstoffutnyttelse
- Råstoffet består ofte helt eller delvis av tidligere ikke utnyttbart trevirke.

Produktene har en stor forutsigelige materialegenskaper

- Liten variasjon i fasthets og stivhetsegenskaper
- Stabilitet av form
- Underlagt ekstern materialkontroll

De er enkle å bruke

- Enkel bearbeiding
- Lav vekt i forhold til fasthets og stivhetsegenskapene
- Egner seg godt til prefabrikasjon

Vi må huske at alle tre baserte materialer som skal brukes i bærende deler av konstruksjoner skal ha dokumenterte fasthets og stivhetsverdier basert på ekstern testing og tredjepartskontroll.

#### Valg og bruk av materialer

Bygg og Anlegg sektor er den største sektoren som bruker ca.40% (1) av alle materialressurser og energi i Norge. Det er viktig å si at sektoren forstrekker eller bidrar til ca. 40 % (1) av fast avfall til deponi samt ca.40% (1) av utslipp av klimagasser. Det blir produsert et stort antall ulike konstruksjonsvarer, stoffer, materialer og produkter til sektoren hvert år, men det er flere typer av konstruksjonsvarer og produkter som går til grunne eller forsvinner også. Det er blitt sagt at ved starten av 1900-tallet hadde vi ca. 50 type forskjellige bygningsmaterialer som var tilgjengelig på markedet, mens i dag har vi mer enn 50,000 ulike konstruksjonsvarer og produkter som kan man velge i og tilgjengeligheten av varer og alle type materialer er i alle store og små byer. Tilgjengeligheten og eksistens av så mange typer av det samme type materialer og produkter gjør det helt vanskelig å velge mellom materialet for den enkelte bestemte situasjonen. Først må vi tenke og bekrefte eller bestemme oss om hvilken varer eller materialgruppe som vi er nødt til å bruke. En kan si at dette kan være betongmaterialer, stålmaterialer, tre produkter, tegl eller glass. Innenfor hver av disse varer og produktgruppene står valget mellom mange forskjellige produkt og materialtyper som igjen kan inkluderer flere materialkvaliteter. Et hyggelig materialteknisk kilde vil forenkle selve material valget, og det kan bidra til å kunne vurdere mange forskjellige kommersielle materialer og produkter mot hverandre. Når man vil gjerne ha et materialvalg, er det bestandig betydningsfull å foreta et detaljert



vurdering av brukssituasjonen og hva som vil være de viktigste egenskapene for den foreliggende situasjonen, både på kort og lang sikt. Dette kan inneholde:

- Alminnelige funksjonsegenskaper
- Anlednings for vedlikehold
- Bestandighet og tilværelse (levetid)
- Estetiske forhold
- Priser ved anskaffelser og reparasjoner

Noen ganger vil en foreliggende brukssituasjon kreve en sammensetning av materialegenskaper ut over det som er tilgjengelig for noen produkter og materialer. Dette kan noen ganger oppfylles ved bruk av såkalte komposittprodukter og materialer som samler ønskede karaktertrekk fra mange diverse enkeltprodukter og materialer. Generelt, blir slike problemer løst opp rent effektivt ved å kombinere mange ulike produkter og materialer. Man kan si at, en varme-isolert yttervegg kan være et eksempel på dette. Som regel kan en si at denne må oppfylle en sett forskjellige funksjoner, og må bestå av mange forskjellige typer av materialer med høyst ulike karaktertrekk slik som vindtetthet, bestandighet, fasthet, varmeisolasjonsevne, og fukt. (Bygning- og Konstruksmaterialer, 2011)

## Sponplater

Sponplater er en av de mest brukte plater som kommer eller kan finnes i et mangfold av diverse sorter og kvaliteter. Vanligvis produktene er laget av spon i tre sjikt, som i midtsjiktet har grovere spon, mens yttersjiktene har finere spon og sagflis for å få en jevn og glatt overflate. Sponplater standard former produseres i henhold til NS-EN 312, (Bygning- og Konstruksmaterialer, 2011) og til bygningssektoren er kommende kvaliteter aktuelle.

- P4 – plater som kan brukes til under tørre forhold
- P5 – Sponplater som kan brukes i under fuktige forhold
- P6 – Plater som har høyere fasthet, brukes til under tørre forhold
- P7 – Plater som har høyere fasthet kan brukes til fuktige forhold.

Sponplater er en fellesnavn for en stor produktgruppe.

Hoved råstoff for disse produktene er består av oppdelt trevirke (spon/sagflis). Platene produseres ved hjelp av lim, høy varme og høyt trykk. Sponplater ble produsert i 1940 (A) årene, og bakgrunnen for produktet var å utnytte biprodukter fra treindustrien. Både plate kvaliteten og overflatefinishen er blitt mye bedre enn det var i gamle dager, og det finnes i marked høyverdige plantekvaliteter.

Det er anbefalt at man kan bruke sponplater både til golv, vegger og til takkonstruksjoner. (3). Vanlige tykkelse og plateformater er fra ca.6 mm til ca.30 mm og 0,6 m x 2,4 m og 1,2 m x 2,4 m henholdsvis. (3) Sponplater som produseres sammen med sement som bindemiddel brukes veldig lite i Norge på grunn av mye vekt. (Bygning- og Konstruksmaterialer, 2011)



Figur 27. sponplater, miljøvennlige materialer

## Råstoff

Sponplaters råstoff består av ca. 80-85 % (A)spon fra både bar og lauvtre. Det produseres spon med forskjellig størrelser. Overflatesjiktet på platene består normalt av små, fine spon / flis slik at en lett kan få en jevn og glatt overflate.

Platens veldig gode fasthets og stivhetsegenskaper er på grunn av at sjiktene innenfor består av lengre, tynne sponer. Midtsjiktene på plater består av grovere spon og partikler og har ofte noe lavere densitet. Sponplater produseres ved hjelp av lim med (melamin) urea formaldehyd lim. Lim mengden tilsvarer ca. 10-12 %. (A) Sponplater produseres i henhold til formaldehydklasse 1 (3).

## Produksjon

Flis / spon blir blandet med lim og fordelt utover en formplate slik at de forskjellige sjiktene blir etablert. Denne blandingen presses deretter sammen under høyt trykk ca. 30 kg / cm<sup>2</sup>(A) ved en temperatur på 200- 240 C°(TreFokus, Treteknikk). Presstiden er avhengig av plate tykkelse, men ligger normalt mellom 3 og 6 minutter.

Platene produseres på ulike tykkelser fra 6mm til over 40mm(A). Densitet på platene er avhengig av platens tykkelse, produksjonsmetode og råstoff. Normalt produseres plater med densitet fra 450 kg /m<sup>3</sup> til 800 kg /m<sup>3</sup>.(Fokus på tre) Bruks av sponplater er avhengig av bruksområder i et bygning. Forskjellige bruksområder i et bygningen krever ulike platetyper samt montering. Det finnes sponplater for gulv, vegg og takk i forskjellige typer med forskjellige egenskaper. (Bygning- og Konstruksmaterialer, 2011)

## ForestiaSponplate Vegg 3-standard 12x 0620 x 2390

Til høyre ser vi et bildet som viser Forestia

Vegg 3 –V standard 12 mm veggplate med spesielt miljøvennlige egenskaper. På bildet ser vi at der trenger man ikke grunning før tapetsering og ingen Sparkling av skjøter. Ve vet at Forestia Vegg 3 –V standard platene ikke kan tåle fukt, og derfor platene må ikke brukes hvor det stilles krav til fuktbestandige materialer. (Klimaklasse 1). Vi kan montere platene på både tre og stålsendere. Når man bruker plater til stålsendere anbefales plater med bredde på 60 cm. Retningslinjer som er vist opp på bildet gjelder for montering av Foresia 3 Vegg m/ grunning, samt Forestia 3 Vegg i standard, ekstra og elite kvalitet. Forestia 3 Vegg er en plate som er gjennomtenkt for tapetsering og leveres i 12 mm tykkelse. Platene inneholder ( 5-8 )% fuktighet fra plass der de

produseres , og som tilsvarer likevekt med (20-50 ) % RF. Det er den viktigste grunnen at bygg fukten skal holdes under kontroll ved hjelp av oppvarming og ventilering. Mur og pussarbeider må gjøre ferdige innsattene sine før montering



Figur 28. sponplater, miljøvennlige materialer

av Forestia 3 Vegg starter. Variasjoner i luftfuktigheten har negative påvirkning på platene. Ved endring av relativ luftfuktighet fra ca. 30 til 70 % får vi endring på dimensjoner av plateplanet på ca. 0,15 % ( 1,5 mm/m). ( 31)

### OSB- Plater

OSB er forkortelse for Oriented Strand Board. OSB – plater er tre baserte plater av sammen limte, tynne trespon, og brukes i stor og mindre grad i bygninger. Sponene av ulike tresorter blir framstilt, og er avhengig av produsent. Norge produserer ikke OSB-plater. Sponene blir limt sammen ved varmpressing med fenolbasert lim, MUF (melamin-urea-phenolformaldehyd) og PMDI (polymericdiphenylmethane –Diisocyanate). OSB-platene i tør tilstand har en blanding av limet på ca. 4%. Produktselskaper av OSB-plater leverer materialer i pakker, og anbefaler at platene skal monteres med det fuktinnholdet som plater har fra produktselskap.

Det finnes fire typer av OSB plater i markedet som følgende.

OSB/1: plater brukes for innredningsformål i totalt tørre lokaler.

OSB/2: Disse type plater kalles lastbærende plater som er beregnet for under tørre forhold og med RF (relativluftfuktighet) som ikke overstiger 65% mer enn noen få uker i løpet av et år.

OSB / 3: Platene brukes i store grad i fuktige forhold. Plater som har kvalitet av OSB/3 kan tåle kortere tids eksponering med fritt vann, men platene skal ikke utsettes i forhold hvor RF (relativ luftfuktighet) over 85% mer enn noen få uker i løpet av et år. Plater av kvalitet OSB /3 er tilgjengelig i Norges markedet.

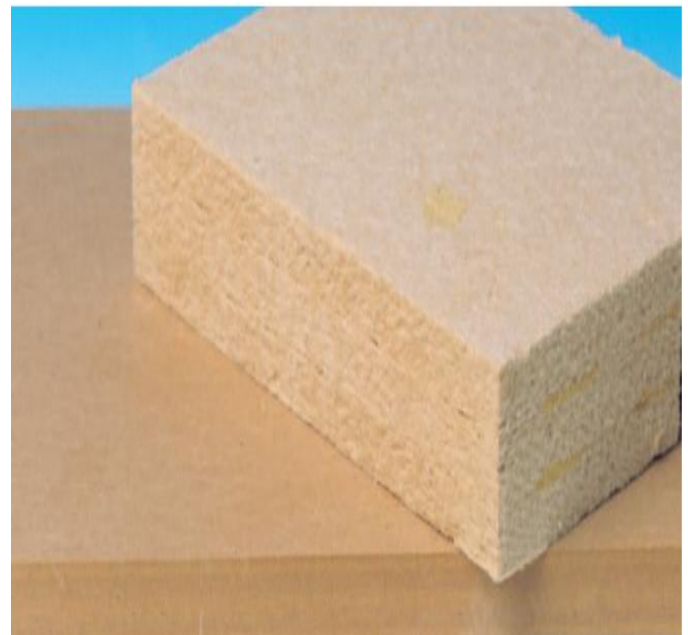
OSB/4: Plater av kvalitet OSB/3 og OSB/4 har generelt de samme egenskaper, men den eneste forskjellen mellom de to platene er styrke og stivhet av OSB/4 klasse produkt. ( Byggforskserien( 571050 OSB plater )

### Trefiberplater og MDF

Produktet består av tre fiberer som er trykket sammen med tvang, og som holdes sammen ved filting klebevirking mellom sammenpressede fibre og trolig av tilsatt bindemiddel. På 1900 tallet ble de første trefiberplatene fremstilt i England og deretter kom produksjonen til Norge i 1030-årene. (1) Materialet er tilgjengelig på markedet i flere tykkelser, formater og i mange kvaliteter. Det vanlige tykkelsene på de porøse,



Figur 29. Miljøvennlige trebaserte plater



Figur 30. Miljøvennlige tre baserte materialer

halvharde og harde plater er (12,7 – 20) mm, og (6,4mm, 12mm) og (3,2, og 6,4)mm henholdsvis. (1) Dimensjonene varierer kraftig, standard er bredde på 1220mm og lengder på 2440,2590, og 2740 mm. ( 3)

Porøse-Trefiberplater ble produsert i 1912 i USA, mens harde trefiber plater ble produsert i 1926. Platene kan brukes til innredning, møbler, laminatgulv og isolasjon /vindtetting. ( Miljøvennlige materialer)

I følgende tabell fines noen av de vanlige kvalitetene av trefiberplater.

<u>Platetype</u>	<u>Romdensitet</u>	<u>Bøyefasthet</u>	<u>Varmeisolasjon</u>	
<u>E</u>	<u>Kg/m<sup>3</sup></u>	<u>N/mm<sup>2</sup></u>	<u>W/mC°</u>	
<u>Porøse</u>	<u>&lt; 350</u>	<u>Ca, 2-4</u>	<u>0,052</u>	
<u>Halvharde</u>	<u>600-800</u>	<u>Ca,25-35</u>	<u>0.081-0,105</u>	
<u>Harde</u>	<u>&gt;800</u>	<u>Ca.35-50</u>	<u>0,120</u>	

Tabell 4. Vanlige trefiberplater

### **MDF plater**

MDF er en forkortelse for (Medium Density Fiber board), og produseres etter tørprosessen. Plater har en standard tykkelse mellom 1,8 mm og 30 mm og densitet på (500-650) kg/m<sup>3</sup>. Plater benyttes i store og mindre grad i

- Veggkledning
- Isolasjon/vindtetting (porøse),
- Innredning og møbler,
- Laminatgulv (MDF),
- Taktro
- Himling ...Og så videre.

### **Kryssfiner**

Kryssfiner plater er bygget opp av et forskjellig antall (minst 3) finerflak som er limt sammen. Sjøktene er bundet sammen kryssvis med fiber-retningen som regel i 90 grader i forhold til hverandre, mens i de to yttersjøktene ligger finerlagene med fiberretningen i like retning. (1).Dimensjoner på de normale finerark skal være fra mindre enn 0.5mm og opp til 10mm tykke. (1) Produktet ble produsert i Faraoenes tid, og deretter i det 1700 og 1800 århundretallet ble finer brukte i innredningsproduseringen. Produktet benyttes i ny tida også i mange forskjellige områder for eksempel i husbygging, til forskaling, til båter, møbler og trevareindustri. Materialets svært gode styrkeegenskaper i forhold til sin vekt gjør det til et gunstig konstruksjonsmateriale. Kryssfinersstyrkeegenskapene er bundet av en rekke



Figur 31. Miljøvennlige Trebaserte materialer

komponenter og er som følgende: treslag, styrke av lim fugens, finerens skårets terminologi, finerens størrelse, lagantallet i en plate. (Bygning- og Konstruksmateriale, 2011) Plater utleveres fra produkselskap som sandblåst, pusset og ferdig malt plater. Produktet leveres fra leverandører i andre former også. Kryssfinerplates leverandør

leverer plater med metalloverflate, vanntett overflate, plastlaminert overflate og så videre. Plater benyttes i mange områder som

- Veggkledning, Skivekonstruksjoner (Tak, vegger), Himling, Taktro, Båter, Møbler Og så videre ... (A5)

#### 4.1.2 Materialer til utvendig veggkledning

##### Kledningsbord

Tre-kledning brukes i mindre eller større grader i utvendig fasademateriale til trehus i Norge. Dette materialet er den helt dominerende når det gjelder det trehus bygninger i Norge. Utvendig klednings bord bringes først og fremst av granverket med uhøvlet forside, og betegnes som en form for korrigeret skurlast. Gran har bedre kjennetegn og bestandighet enn furuens som underlag for maling og yteved henholdsvis, selv om furu har større kvister. Lerk og furu bord som har tilstrekkelig naturlig god bestandighet, brukes som ubehandlet kledning.

Utvendig kledningsplater lages og leveres for stående og liggende kledning, og inkluderer både rektangulære tverrsnitt og brettete bord av forskjelligesorter. Materialet leveres og kan finnes i markedet i flere bredder og tykkelser. Bredden og vanlige tykkelser er vanligvis 48-173 mm, og 19 mm eller 22 mm henholdsvis. 16 mm tykke bordet kan brukes i smale underliggere i stående kledning. Den ordinærest bordvidden er 148 mm. Oppsprekkings faren øker med bredden på bordene. Tykkelsen av bordet må øke til minst 22mm dersom man bruker bredere bord enn 148 mm.

Egenskap –virkes-feil	Krav i kvalitetsklasse 1
Overflate	Tørresagd med en ruhet som gjør den egnet som malingsunderlag. Høvlet over flate skal være jevn og uten tydelige riper fra verktøy.
Kvaelommer	Enkelt opp til 2 mm x 25 mm. Maks 1 stk. Kantstilt per 1,5 m med maks størrelse 5 mm x 50 mm
Råte, blåved, insektskader	Ikke tillatt
Åringsbredde	Gjennomsnittlig bøy 5 mm. Største tillatte årring bredde: 8 mm
Kuving	Maks 1 % av bredde
Flatbøy	Bordene skal enkelt kunne settes sammen.
Kantkrok	Maks 7 mm per 2 m
Gjennomgående sprekk	Ikke tillatt
Løs kvist	Ikke tillatt hvis den er gjennomgående
Frisk kvist	10 % av bredde + 30 mm
Kvisthull	Ikke tillatt

Tabell 5. kilde ( Trehus Hånd bok Sintef Byggforsk) (Ramstad, 2014)

### **Stående tre kledning**

Den Tømmermannskledning med over- og underliggere er mest normale. Villmarks panel eller Overliggere med profilerte kanter er et alternativ til skarpkantede bord. Stående kledningstyper er vist i følgende figurer. (Ramstad, 2014)

### **Liggende tre kledning**

Liggende kledning kan lages eller utføres med rettkantete bord eller bord med forskjellige versjoner skruket profil. Den mest rasjonelle typen av kledning er dobbelt falset kledning som kan monteres og kan gi enkelt løsninger ved hjørner og til slutninger. Ufalset kledning opptas eller kalles som godt egnet på steder med store klimapåkjenninger, på grunn av at den gir bedre luftsirkulasjon eller lufting på baksiden enn kledning med glatt bakside. Det kan monteres og brukes Ukantede bord også som ufalset kledning. Materialet er vist i følgende figurene. (Ramstad, 2014)

### **Trykkimpregnerte bord**

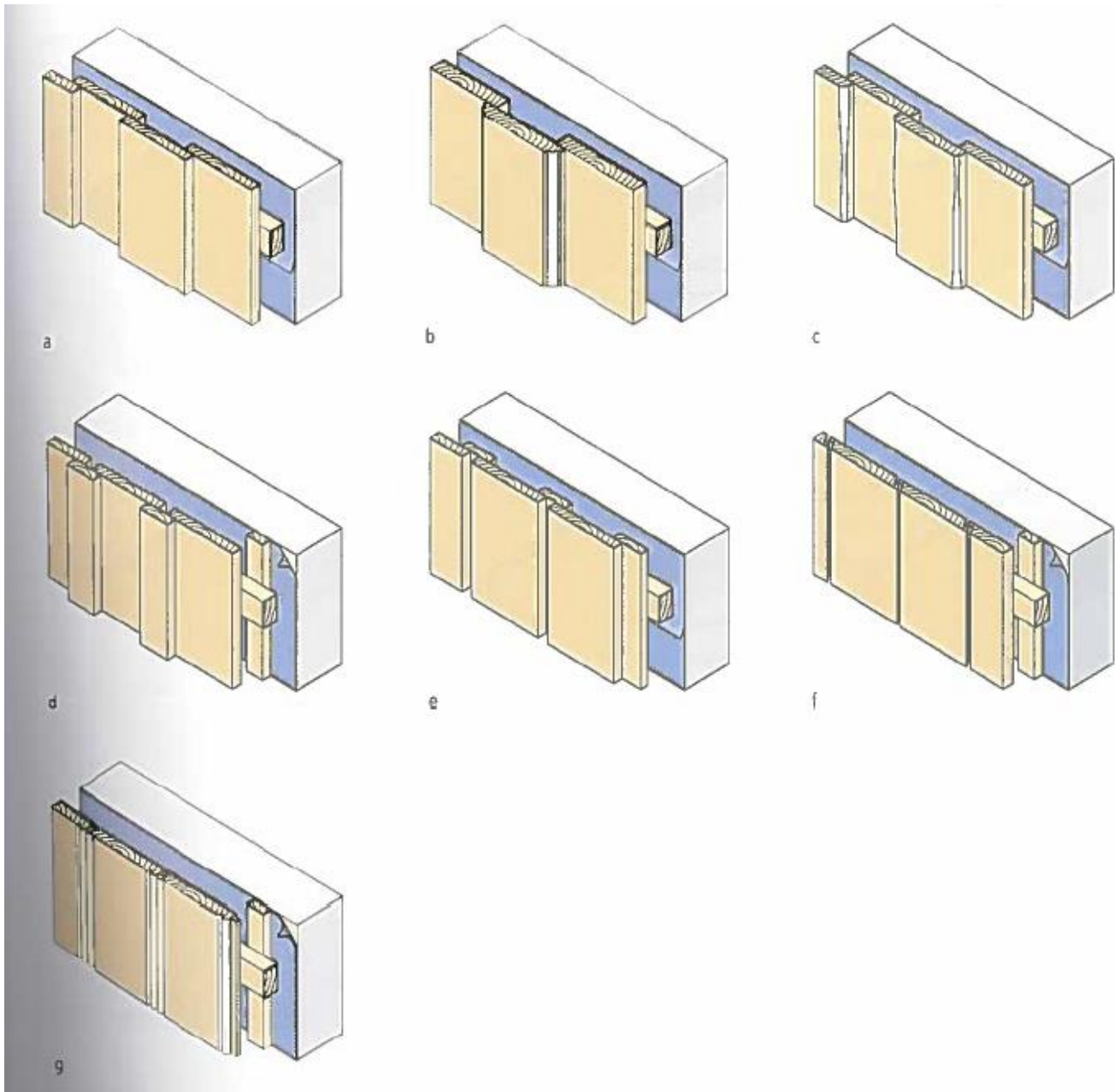
Det bør være en fordel å ta i bruk trykkimpregnerte bord på plasser med betydelig mye slagregns påkjenning. Trykkimpregnerte bord av furu og trykkimpregnerte bord av gran bør tilfredsstille klasse AB, og klasse GRAN i NTR dokument nr 1 henholdsvis. Trykkimpregneringen forebygger og stopper råter fra utvikling, men spiller ingen roll å gi fordeler med hensyn til utvikling av overflatesopp, mekanisk styrke eller sprekkfare. (Ramstad, 2014)

### **Modifiserte bord**

Trevirket behandles kjemisk eller fysisk som kan hjelpe til forbedring av trevirkets egenskaper. Materialets kjemisk og fysisk behandling forstrekker materialet i forbindelse til biologisk holdbarhet, dimensjonsstabilitet, hardhet, eller UV-stabilitet. Det er noen ulemper med modifisering av tre-materialer, det er på grunn av at tre-modifisering kan i midlertid limitere styrkeegenskapene av materialet og vil lage / gjøre trevirket sprøere. (Ramstad, 2014)

### **Brannklassifisering**

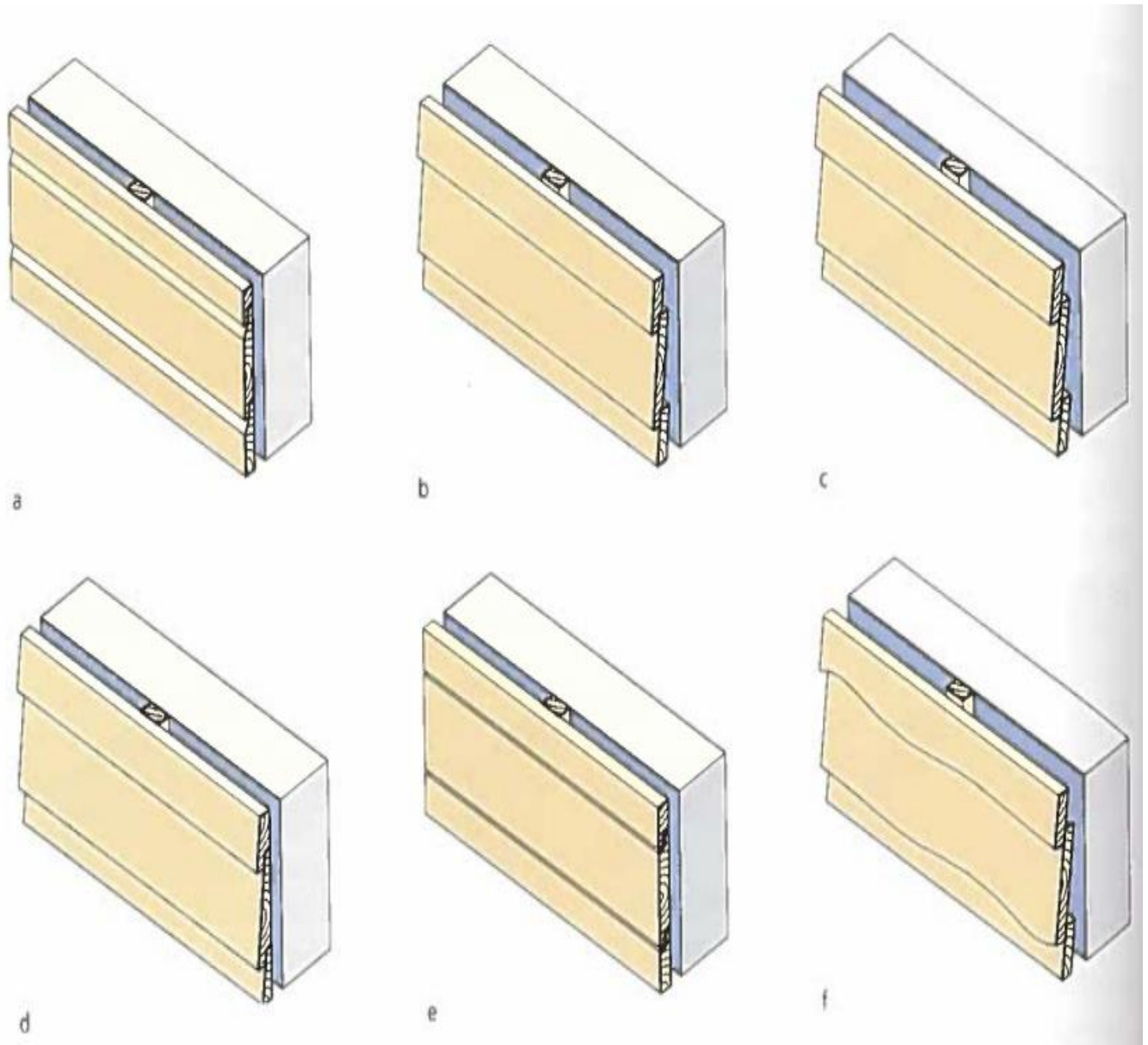
Vanligvis alle vanlige tre-kledning har brannteknisk klasse D-s2, do i henhold til NS- EN 13501. Vi kan oppgradere kledningene til klasse B-s2, do ved hjelp av brannimpregnering. (Ramstad, 2014)



Figur 32. Trehus (Noen eksempler på stående tre kledning)

- a. Tømmermannskledning
- b. Tømmermannskledning med profilert overligger
- c. Tømmermannskledning med utkantede bord
- d. Lektekledning
- e. Omvendt lektekledning
- f. Åpen, falset kledning
- g. Høvlet, profilert kledning

Noen eksempler på liggende kledning er vist i følgende bilder (Ramstad, 2014)



Figur 33.klednings eksempel (Trehus Hånd bok Sintef)

- a. Dobbelt falset kledning
- b. Enkelt falset kledning
- c. Ufalset kledning
- d. Weather-Boards
- e. Åpen, dobbelt falset kledning
- f. Kledning med ukantede bord (Ramstad, 2014)



### 4.1.3 Innvendig kledning

#### Tre-panel og lister

##### Høvellast generelt

Høvellast paneler og materialer kan brukes til flere emner og formål, men i hus konstruksjoner, bolig og bygninger brukes produktet først og fremst på synlige plasser og deler, ikke minst som panel og listverk. Produktet blir behandlet i høvleriene for å lage ønskelige profiler av produktet. Derfor produktet blir tørket skurlast kløyvd med sirkel eller båndsgag kantet og høvlet i høvleriene til ønsket profiler.

Høvellast inkluderer flatt og glatt høvlede bord og bord med not og fjær på langsiden. Pløyde profiler er en type av profiler med not og fjær. Dessuten vanlige produkter har også not og fjær i slutningene/endene. Noen bilder av materialet er vist i følgende figurer. Selv om produktene er i mindre og store grader standardiserte er det mange produktsselskaper som produserer og leverer pynteprofiler med et eget særpreg. NS 3187, NS-EN 14519 og NS-EN 14951 (Ramstad, 2014) er de basisstandardene for høvellast til innvendig kledning og belistning. Vi kan finne informasjon og opplysninger om innvendigpaneler samt tekniske informasjoner som kvalitetskriterier, profiler og vanlige dimensjoner i den tekniske spesifikasjonen SN/TS 3183.(Trehus). Produktet blir sortert etter kroppsbygning og utseende samt behovene er strengere til forsiden enn til baksiden. Høvellast har tre kvalitetsklasser, og klasse 1 ligger i den strengeste klassen. (Trehus) (Ramstad, 2014)

##### Tresorter

Vi vet at, de dominerende treslagene er bartreverket av gran og furu, men det er panel av løvtre som blir i noen grader også brukt. Bordene produseres og leveres med eller uten overflatebehandling og produktet finnes i markedet i forskjellige kvalitetsklasser. (Ramstad, 2014)

##### Paneltyper

Tre-paneler er kjent som den gamle og tradisjonelle innvendige kledningen som brukes på vegger og himlinger i trehuskonstruksjoner og bygninger, og består av høvlede og profilerte bord med not og fjær. Produktsselskaper produserer materialet i designer med plassering av not og fjær i bordenes sidekanter i større grader i henhold til NS-EN 14519, men lager forsiden av bordene uten profileringen. Paneltyper er tilgjengelig i markedet med mange forskjellige dimensjoner. Faspanel har skrå kant på hver side og det er på grunn av at materialet kan danner seg en V-formet fuge når panelene settes sammen. Det finnes i markedet den vanlige paneler som har skrå kant, men paneler med rund og rett kant er tilegnelige også. (Ramstad, 2014)

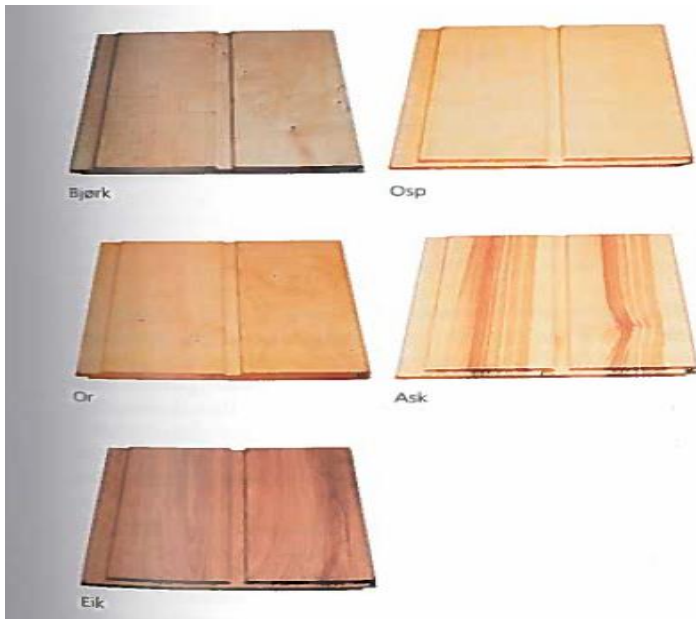
##### Dimensjoner

Dimensjoner på panelbord varierer og kan finnes i markedet fra ca.70 mm til ca. 170 mm. Underliggere paneler skal være mindre enn 45 mm i bereden, mens spesialpaneler er tilgjengelig i bredder over 170 mm. Den normale og vanlige tykkelsen på materialet er 14mm, og 12 mm tykke kan brukes ved bare relativt smale bordene. Det er nødvendig å vite at, bord som er bredere enn 145 mm bør eller må bordet være tykkere enn 14 mm for å redusere kvingen. Det er anbefalt å bruke 9 mm tykke bord til underligger. Dekningsmål for paneler er vist i følgende tabell.

No	Panelbredde mm	Dekningsbredde mm	Løpemeter bord per m <sup>2</sup> m
1	95	85	11,8
2	120	110	9,1
3	145	135	7,4
4	170	160	6,3
5	195	185	5,4

Tabell 6. Standard Dimensjoner på panelbord, kilde (Trehus håndbok Sintef bygg forsk) (Ramstad, 2014)

### 1. Panel av løvtrevirke



### 2. panel av bartrevirke



Figur 34 .Standard Panel typer, kilde (Trehus Håndbok Sintef Bygg forsk)

## 2.1.6 Miljøvennlige isolasjonsmaterialer

### Generelt

Det skjer mange ganger at to absolutt like boliger, hus eller bygninger får helt forskjellige strømregninger for liketidsbruk. Hva er grunnen til dette?

Vanligvis er det kaldt om vinteren, da trenger man å være varmt og derfor kler vi på oss mer klær. Generelt, setter vi opp temperaturen hjemme og bruker hovedsakelig mer energi på å ikke fryse. Alle husene eller boligene slipper ut varme i mindre eller i større grader. Husene som er godt isolert slipper mindre varme, mens dårlig isolerte hus og boliger slipper ut varme i store grader. Gamle og umoderne hus og bygninger bruker mye mer energi enn de moderne og nyere bygninger, hus og boliger. For å unngå bruk av mer energien da må vi isolerebygninger, boliger og våre hus godt nok. To helt like hus som får helt forskjellige strømregningen på samme tidsbruk, tyder på at det ene huset er godt isolert, mens det andre ikke er det. Kvalitet og tykkelse av isolasjon har mye betydning for varmeoverføringen eller varmetapet. Vi kan si at, Jo tykkere lag av isolasjonsmaterialet huset har, jo bedre holder det på varmen.

Lambda verdi ( $\lambda$ ) er et viktig funksjon av isolasjonsmaterialer og måles med W/m k. Lambda verdien er som et mål på hvor effektivt varmetransporten begrenses og bremses. Så kan vi si at, jo lavere ( $\lambda$ ) verdien, jo mindre varmetap og dermed mer effektiv termisk isolasjon.

U-verdi er en teoretisk verdi isolasjonsevne og kan regnes som følgende.

$$U = (\lambda) / d \text{ (lambda / tykkelse av isolasjonslag)}$$

Enheden for U-verdien kan skrives som W/m<sup>2</sup>K.

Det finnes mange isolasjonsmaterialer å velge mellom når vi ønsker å isolere bygninger eller et hus, og hver av dem har sine styrker og svakheter, mens alle har en felles virkning som er at de hjelper oss med å spare på energien og varmen. Det skal være fint å si litt om de mest vanligste og mest brukte isolasjons materialer som brukes i hus og vegg konstruksjoner eller i bygningersvegger.

- Mineralull
- EPS
- PAPIRULL
- TREFIBER
- NATURFIBER ISOLASJONSMATERIALER
- LØSFYLL AV TREFIBER ELLER
- CELLULOSEFIBER
- SKUMGLASS SOM LØSFYLL
- BOMULL
- BØLGEPAPP
- HALM
- HAMPFIBER
- ISOPOR (POLYSTYRENSKUM)
- KALSIIUMSILIKATSKUM
- KOKOSNØTTFIBER
- KORK
- LETTBETONG
- NY LETTERE LETTBETONG
- LETTLIERE / LEIRHALM
- TREFLISLEIRE
- LECALEIRE
- LETT-TEGLBLOKKER
- LINFIBER
- STEINULL
- GLASSULL
- ISO-SOFT
- MOSE
- MUSLINGSKALL
- PERLITT
- POLYURETANSKUM
- RUG-GRANULAT
- SAUEULL
- SKUMBETONG
- SKUMGLASS
- CELLEGLASSPLATER
- SPON OG SAGFLIS
- TANG / ÅLEGRESS
- TEKSTILFIBER
- TORV
- TRANSPARENT ISOLASJON
- MASSIVTRE

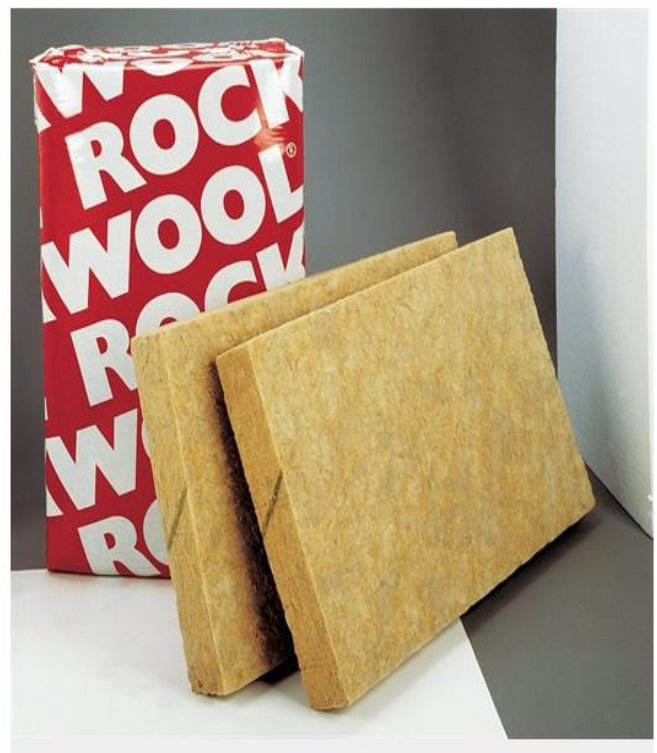
(13)

## Mineralull

Mineralull ( $\lambda = 0,034$  til  $0,040$  W / mK) er smeltet glass eller stein som er spunnet til tråder og er limt sammen med fenol-formaldehyd og kan finnes i form av matter og granulat. Materialet har vært brukt i alle type bygninger. Materialet leveres til markedet i løst fiber til innsprøyting, matter og bånd form.

Fordeler og ulemper med bruk av materialet.

- Materialet er brannsikket og har gode isolerende egenskaper.
- Vi må ha bygg tette både mot luft og diffusjon av fuktighet inn i strukturen når vi isolerer bygget med mineralull.
- «I tykke lag med løs ull kan det oppstå indre konveksjon (bevegelse i luften) som senker isolasjonsevnen.»
- Grunnen til det er at fuktighet vil kondensere, synke ned samt vil skade i trebygninger, i tillegg fuktig mineralull lukter dårlige. (13)



Figur 35. Steinull Kilde (Rockwool nett side)

### **Ulemper med bruk av mineralull**

- Materialet er ubehagelig å jobbe med, og kreves mye energi i produksjonen.
- Mineralull består av en vesentlig mengde lungeskadelig fiber som er mindre enn 5 mikron og lengre enn 3mm. De som driver med isolering prosess i bygninger må ha beskyttelsesutstyr for å hindre innånding av disse fibre.
- De fleste Mineralull produkt selskapene har endret prosessen av produksjonen for å minimere lungeskadelige fiber i produktet.
- Produktet inneholder små mengder av fenol / formaldehyd som bindemiddel, og det kan oppstå utslipp av formaldehyd, spesielt når materialet er vått. Fenol er hovedsakelig brann frigjør giftige gasser som er helt farlig. (13)

### **EPS (Ekspandert polystyren)**

Materialet inneholder 2% fast stoff, utvunnet av råolje samt resten er luft, og kan finnes i plater og kuler. Materialet brukes i store og mindre grader i hulmurer, terrengdekke og etasjekiller. (13)

#### **Fordeler og ulemper med bruk av materialet:**

Materialet er lett / lav vekt og suger ikke vann, derfor er det lettere å håndtere. Det finnes noen ulemper med bruk av materialet i bygninger, for eksempel materialet er brannfarlig og smelter seg ved 120 C° grader samt kulene renner ut, hvis man lager en hull i konstruksjonen. (13)



Figur 36. Standard Miljøvennlige isolasjonsmaterialer

### **Papir-ull**

Papir-ull blir produsert av resirkulert primært avispapir, og er tilsatt brannhemmende bor salter. Materialet ut leveres og finnes i markedet i granulat form .Fordeler og ulemper av produktet er som følgende:

Suger og avgir av fukt kan navnes som fordeler av produktet.



Figur 37. (Miljøvennlig isolasjonsmaterialer

## TREFIBER

Trefiberisolasjon produseres og leveres til marked som porøse matter i følgende former.

- Porøse matter ( $\lambda = 0,037 \text{ W / mK}$ )
- Porøse plater ( $\lambda = 0.045 \text{ W / m K}$ )
- Middels harde plater ( $\lambda = 0.055 \text{ til } 0.07 \text{ W / m K}$ )
- Harde plater ( $\lambda = 0,11 \text{ W / m K}$ )

Materialet blir laget av avfallsvirke fra furu og gran. Først kuttes treet opp til sponflis, og dermed gjøres rent og sorteres. For å få myk og bløt produkt må man utsette de rene sponflisene for damp og dermed male til fibermasse med en fiber tykkelse på 1,5 mm eller mer. Deretter blandes massen med vann for å lage plater av produkt. Treets limstoff virker som bindemiddel og hvis benyttes det gammelt trevirke må man tilsette lim for å fungere riktig. Produktet som blir produsert i plater form tørkes ved  $180 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$  og kappes deretter i forskjellige formater. (13)



Figur 38. Trefiber (Standard Miljøvennlige isolasjons materialer)

Produkt industri tilsettes 1-3% aluminium sulfater for å aktivere treets limstoff, mens tilsettes ammonium sulfater for å forandre brannmotstanden. Det finnes noen av trefiberplater som har en hinne av voks samt plater som kan tåle mye fuktighet på grunn av at materialet inneholder mengden av furuolje og produktet kalles oljeherdede plater.

**Bruks områder av produktet:** Trefiberisolasjon er lette å forbruke og brukes som løs fyll eller som luftige plater. Materialet brukes i store og mindre grader å isolere bygninger mot trinnlyd og som lydabsorbenter og sov.

## Bomull

Bomull ( $\lambda = 0,040 \text{ W / mK}$ ) som er en god isolasjonsmateriale og finnes over all i verden, samt har gode isolerende egenskaper som brukes i isolasjonsmatter. Bomull er laget av ren bomull og bomullsrester fra tekstilindustrien. Det er ikke nødvendig å beskytte materialet mot insekter. Det blir tilsatt boraks (0,6 – 3) % for å redusere brennbarheten. Fordelen med materialet er, at det avgis ikke skadelige gasser fra det ferdige produktet. Bomull isolasjonsmateriale slipper ut ca. 0,02 kg av  $\text{CO}_2$  / kg. Ulemper av bomull isolasjon kan være økonomisk sak. (32)

I henhold til U.S avdeling av energi notater at isolering ved kvadratfot med bomull isolasjon vil koste 10 til 15 prosent mer enn konvensjonelle glassfiber, mens andre anslag går så høyt som to ganger mer. (32)



Figur 39. bomull (Standard miljøvennlig isolasjons material)

### Bølgepapp

Bølgepapp er laget av mange lag papirark som er limt sammen, og har kanaler horisontalt. Materialet brukes som isolasjon materialer i vegger, men produktet er brannfarlig og derfor må være beskyttet med brannsikre lag.



Figur 40. Bølgepapp (Miljøvennlig isolasjons material)

### Cellulosefiber

Cellulosefibrerisolasjonen blir produsert i industri av nylaget eller resirkulert papir og har  $\lambda = 0,038$  til  $0,043$  W / m K.

Materialet kan finnes og er tilgjengelig både som løst fyll til innblåsing eller plater. I produkt selskaper prøver å gjøre materialet mindre brannfarlig og forhindre mugg ved tilsettelse av enten borsyre, boraks, vannglass, ammonium eller aluminium sulfat.



Figur 41. Cellulosefiber (Standard Miljøvennlig isolasjonsmaterialer)

### Hampfiber

Hampfibrerisolasjon ( $\lambda = 0,038$  til  $0,045$  W / m K) blir laget av komprimert fiber fra plantens stilk som matter.

I industri eller i produkt selskaper blandes hamp med 15 % av polyesterfiber for å gjøre hampfibrerisoleringen stivere, samt noen ganger tilsettelse ( 3-5 ) % av soda ( natriumkarbonat ) som flamme hemmer.

#### Fordeler med bruk av Hampfiber isolasjon:

- Isolasjon som er laget av hampfiber ikke impregneres på grunn av at hamp har en naturlig sopp og bakteriehemmede effekt.
- Mattene som er laget av hampfibrerisolasjonen har i store grad effekt som hygroskopiske materialer og er fuktbufrende, derfor endrer ikke egenskaper når opptar og avgir fuktighet.
- Hamp som blir dyrket for produksjon av fiber i industri inneholder svært små mengder av narkotiske stoffer



Figur 42. Hampfiber (Standard Miljøvennlig Isolasjonsmateriale)

Ulempen med bruk av materialet kan være at hamplattene tar opp CO<sub>2</sub> når den vokser, og det bindes ca.548kg av CO<sub>2</sub> / kg vekt. (32)

### Isopor isolasjonsmaterialer

Isopor isolasjonsmaterialer ( $\lambda = 0,035$  til  $0,041$  W / mK) blir laget enten av EPS (ekspandert polystyren eller XPS (ekstrudert polystyren).

EPS er en blanding av polystyren og pentan (91-94) % og (4-7) % henholdsvis, mens XPS består av 99 % polystyren (13). I tillegg XPS plater tåler strengere krav til styrke enn plater som er laget av EPS.

### Ulemper av materialet

- Ulemper ved bruk av materialet er at produksjonen er miljø- og helsefarlig samt
- Produksjonen er komplisert, og energikrevende, men det skjer i lukkede prosesser.
- Polystyren er en type stoffer som brenner mektig eller flyktig og med en mørk og giftig røyk.
- Materialet tilsetter bare en litegrann av varme og fuktighet og kan derfor ikke hjelpe til å forberede inneklimate.
- Ultrafiolett lys har ned brytende effekt på isopor materialet og bør derfor ikke benyttes utendørs.
- Isopor isolasjonsmaterialer utslipper Ca.3,49 kg av CO<sub>2</sub> / kg for EPS materialer, mens mengden for XPS plater er Ca.3,71 kg CO<sub>2</sub> / kg. (13)



Figur 43. Isopor (Standard Miljøvennlig isolasjonsmateriale)

### Kokosnøtt fiber

Kokosnøtt fiber ( $\lambda = 0,045$  til  $0,050$  W / mK) leveres til marked i matter og plater, og består av fibre som er rund kokosnøtten. Produktet blir impregnert med ammonium polyfosfat, ammoniumsulfat, borsalt eller vannglass (løsning av natrium – eller kaliumsilikat) på grunn av at materialet er lettfengelig og lett antennelig. Som fordeler med materialet kan man si at produktet er fuktbestandig og er motstandsdyktig mot råte og bakterier som brukes til tetting av fuger og varmeisolasjon. Kokosnøtt fiber er et avfallsprodukt som kommer fra Kokosnøtter og kan brukes igjen som isolasjon eller polstring.(13)



Figur 44. Kokosnøtt fiber (Miljøvennlig isolasjonsmateriale)

## Kork

Korkisolasjon ( $\lambda = 0,040$  til  $0,045$  W / mK) er hovedsakelig produsert fra barken av en tre som heter korkeik og vokser i Spania, Portugal og Nord-Afrika og blir importert til resten av verden. Materialet leveres ut til marked i forskjellige formater som ark, plater og eller i granulert form.

### Fordeler og ulemper av produktet

**Fordeler med bruk av produktet** er at det er motstandsdyktig mot fukt og råte, og angripes ikke av skadedyr. Korkisolasjon er et stabilt material og flytter seg lite ved temperaturendringer. Generelt er det vanlig å ekspandere utvide korken i vanndamp ved  $380$  C° i trykk tank for å forbedre isolasjonskapasitet, og deretter tvinges den samlet til plater. Det er ikke nødvendig å tilsette lim for å holde materialet sammen fordi korkens eget lim holder materialet sammen. Produktet brukes i mindre og store grader som isolasjonsmaterialer som er utsatt for trykkbelastninger på grunn av materialets relativt sterkhet og god nok elastisitet og samtidig evnen som gjenvinner sin form.



Figur 45. Kork (Miljøvennlig isolasjonsmateriale)

**Ulemper ved bruk av materialet** kan være at hvis materialet bli fast eller stående vått i lang tid kan det vokse mugg. Korketreet opptar  $\text{CO}_2$  når vokser frem og binder ca.  $1.39$  kg / kg av vekt. (13)

## Linfiber

Lin-fiber er laget av fiber som er for korte for tekstilproduksjon og filamentene gjøres fast sammen ved, at de hurtig varmes og etableres til matter. Produktet har termisk ledningsevne på ( $\lambda = 0,038$  til  $0,040$  W / mK)

**Fordeler ved bruk av materialet** kan forklart som følgende.

Lin fiberisolasjon materialer er naturlig motstandsdyktig mot mugg, råter, og skadedyr, samt tar ikke fyr så lett. I tillegg materialet er hygroskopisk og har gode karaktertrekk med hensyn til fuktbufring, opp til 25 % av sin egen vekt. Produktet telles som en god lydisolerende isolasjon. Potetmel tilsettes som bindemiddel i Linfiberene for å lage matter av materialet.

Blanding av (2-18) vektprosent av polyesterfiber innføre til å få stivere matter. Produktet brukes som

isolasjonsmaterialer i bygninger. (13)



Figur 46. Linfiber (Miljøvennlig isolasjonsmateriale)



## 5 Kapittel 3

### 5.1 Eksperimentell seksjon

I den eksperimentelle delen av prosjektet ville jeg gjerne bygge to typer av godt isolerte vegger for å se effektiviteten av isolasjon i forskjellige lag av veggen. Forsøket vil bli gjort i to runder som vil ha kjølerom som kaldt luft omgivelse og verksted som inneluft, og til hvert forsøk skulle det brukes en vegg i 1500 mm x 2500 mm dimensjon. Og deretter deler veggen i to like deler. Første delen blir som unit 1 eller modul 1 og andre delen blir unit2 eller modul 2.

#### A. Vegg type 1 (unit 1 og unit 2)

Vegg design og eksperiment prosedyre for forsøk 1 blir forklart i kapital (2)

#### B. Vegg type 2 (unit 1 og unit 2)

Vegg design og eksperiment prosedyre for forsøk 2 blir forklart i kapital (2).

Som sagt tidligere ønsker jeg å ha et prosjekt der som jeg skal bygge opp 2 type moduler for å finne ut eller se effekt av isolasjonsmaterialer samt temperatur fordeling gjennom kompositt vegger. Resultatet av sammenligningen av både eksperimentelle data, numerisk beregninger og Simulerings data vil hjelpe oss å finne ut om luft lag i kompositt vegger har noe betydning i isolering eller ikke, og om det er mulig å erstatte de tykkere og dyrere vegger med tynnere og billigere vegger.

I eksperimentet vil jeg gjerne ha en vegg i 1500 mm x 2500 mm overflate dimensjon og en tykkelse på 146 mm. Veggen vil bli delt in i like to store deler med samme tykkelsen, men to forskjellige tverrsnitt. Tverrsnitt for unit 1 skal være med luftlag innimellom isolasjonslag og for unit 2 tverrsnittet skal være treplater og en type isolasjonsmateriale. For å registrere data av hvert eksperimentet er det lurt å nominere hver del som forsøk 1, unit1 og forsøk 1 unit2 henholdsvis. Dimensjonen på vegger er avhengig av lab fasiliteter som er tilgjengelig.

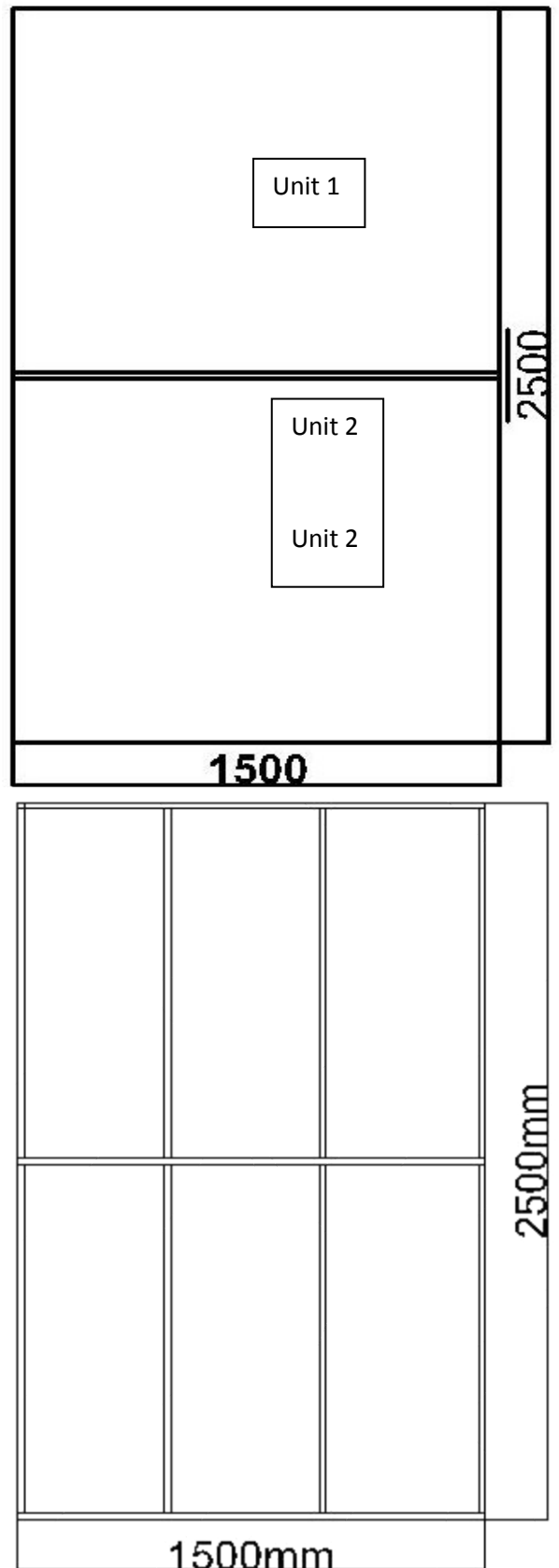
Oppbygging av vegg 1 for første forsøk: For mer detaljert informasjon se vedlegg (1 )

Oppbygging av modulen er forklart trinnvis for at det skal være lettere å forstå innholdet i den.

Veggens ramme er planlagt som følgende. Veggens overflates dimensjonen og inndeling er også visst i denne delen.

Veggen som er delt inn i to like store deler.

- Unit 1 eller modul 1
- Unit 2 eller modul 2
- Veggens ramme skal lages på denne måten, dette vil gjøre det lettere å isolere veggene ordentlig/riktig samt kan hjelpe oss å plassere sensorene på rett plass.



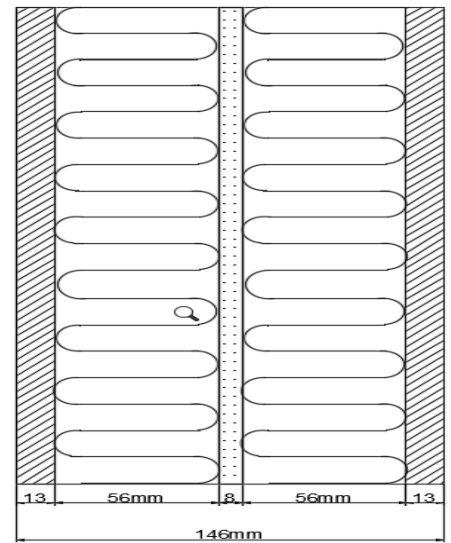
Figur 47. Veggens ramme som er blitt brukt i eksperimentet

- Tverrsnitt for veggen unit1 ved to lag Glava isolasjon med luft-lag innimellom.

Veggen er lagt av følgende materialer

- 13 mm tykke gipsplater
- 56 mm tykke lag av Glava isolasjon
- 8 mm tykke luft lag
- 56 mm tykke lag av Glava isolasjon
- 13 mm tykke gipsplater

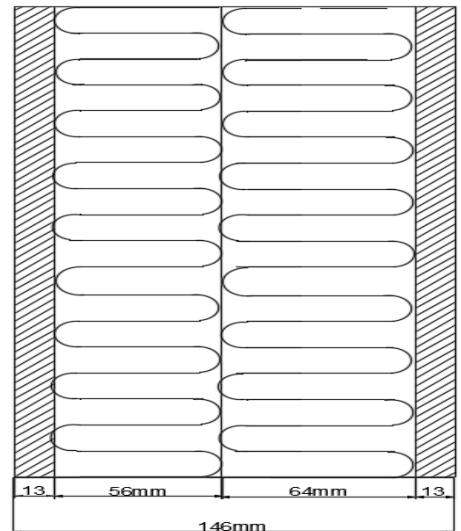
Alle dimensjoner er i mm  
Forsøk 1 unit1



- Tverrsnitt for veggen unit2 ved to lag Glava isolasjon uten luft-lag innimellom. Materialet som er brukt i veggen er som følgende:

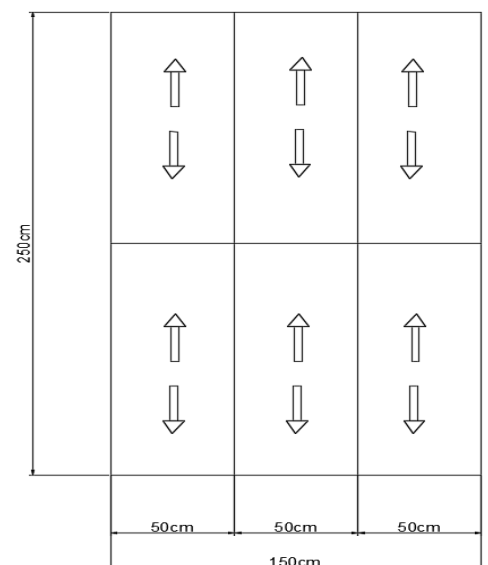
- 13 mm gipsplater ved varmeledningsevne  $\lambda = 0.17$
- 120 mm Glava isolasjonsmaterialer ved Varmeledningsevne  $\lambda = 0.036$
- 13mm gipsplater ved det samme varmelednings evne

Alle dimensjoner er i mm  
Forsøk 1 unit 2



- Isolering av veggen ble gjort som følgende i begge isolasjonslag.

Isolajsonsretning i forsøk1 unit 1 og 2 ,først lag



Figur 48. Isolering prinsipper av veggen

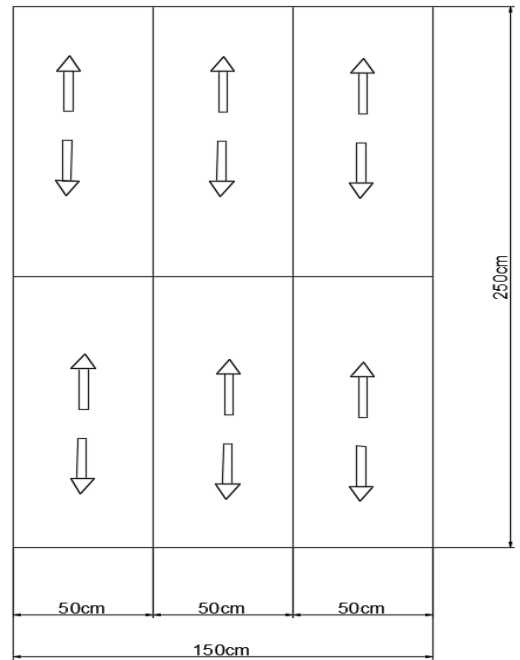
Unit 1 og 2 er blitt isolert i samme retning i begge isolasjonslag.

Første lag av isolasjon er plassert i følgende retning og isolering av begge deler (unit 1 og unit2) av veggen

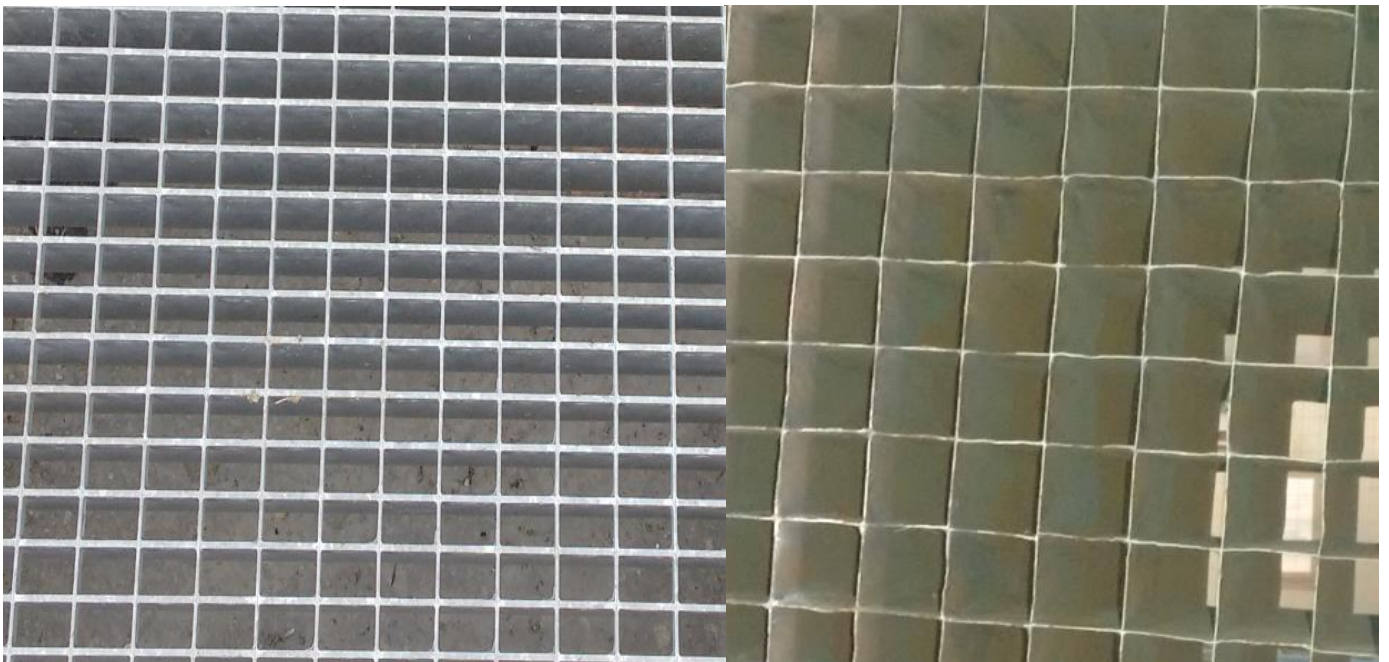
ble gjort på samme måte. Andre lag av isoleringen av veggen er blitt gjort på samme måten, og det er på grunn av at jeg ønsker å se om isolasjonsretning (plassering av isolasjon) har noe betydning i varmetransporten.

Veggens rammer er blitt laget av 23mm x 100mm furu tre plater ved  $\lambda = 0.14$ . Den største utfordringen av veggkonstruksjonen var plassering av stilleluftlag i unit 1. Hvis luft-lag ble tykkere og større i arealer, da får vi luft sirkulasjon i luft-lag på grunn av temperatur gradient, og deretter blir det mye varmetap i system som er ikke tillat og må hindres. Derfor tenkte jeg å lage stilleluftlag ved hjelp av stille luft lommer på størrelsen av 2cm<sup>3</sup>.

Isolasjonsretning i forsøk1 unit 1 og 2, andre lag



Figur 49.isolerings prinsipper av veggen



Figur 50.stilleluftlommer i henhold til planen som var ikke tilgjengelig i markedet

Bildene som er lagt ved viser det som jeg hadde planlagt , men det finnes ikke slike ferdig laget luftlag-lommer i markedet, og det er vanskelig eller kan si nesten umulig å lage en sånn luftlag manuelt. Det finnes noen alternativer som kan brukes i stedetfor. Det ble laget luft-lag ved plassering av 8mm tykke lekter ved

avstand innimellom 20 mm og dekket deretter begge side ved 56 mm tykke Glava isolasjon. Det var ikke akkurat det som var planen, men det var bare et alternativ for å gjennomføre prosjektet.

8. Noen bilder av alternativet som ble laget i eksperimentet for unit 1 i forsøk 1 og 2.



*Figur 51.eksperiment, stilleluftlag unit1, tatt av Anwar*



*Figur 52 .retning på Plassering av isolasjonsmaterialer i unit 1 og 2*

- Noen bilder av veggens ramme som er laget og delt i to unit (unit 1 og unit 2).



Figur 53. Veggens ramme som er blitt brukt i eksperimentet

Veggens rammen er montert i planlagte plassen der som vi ønsket å ha eksperimentene.



Figur 54. Veggens ramme er blitt montert på plass for eksperimentet, bildet er tatt av M Anwar

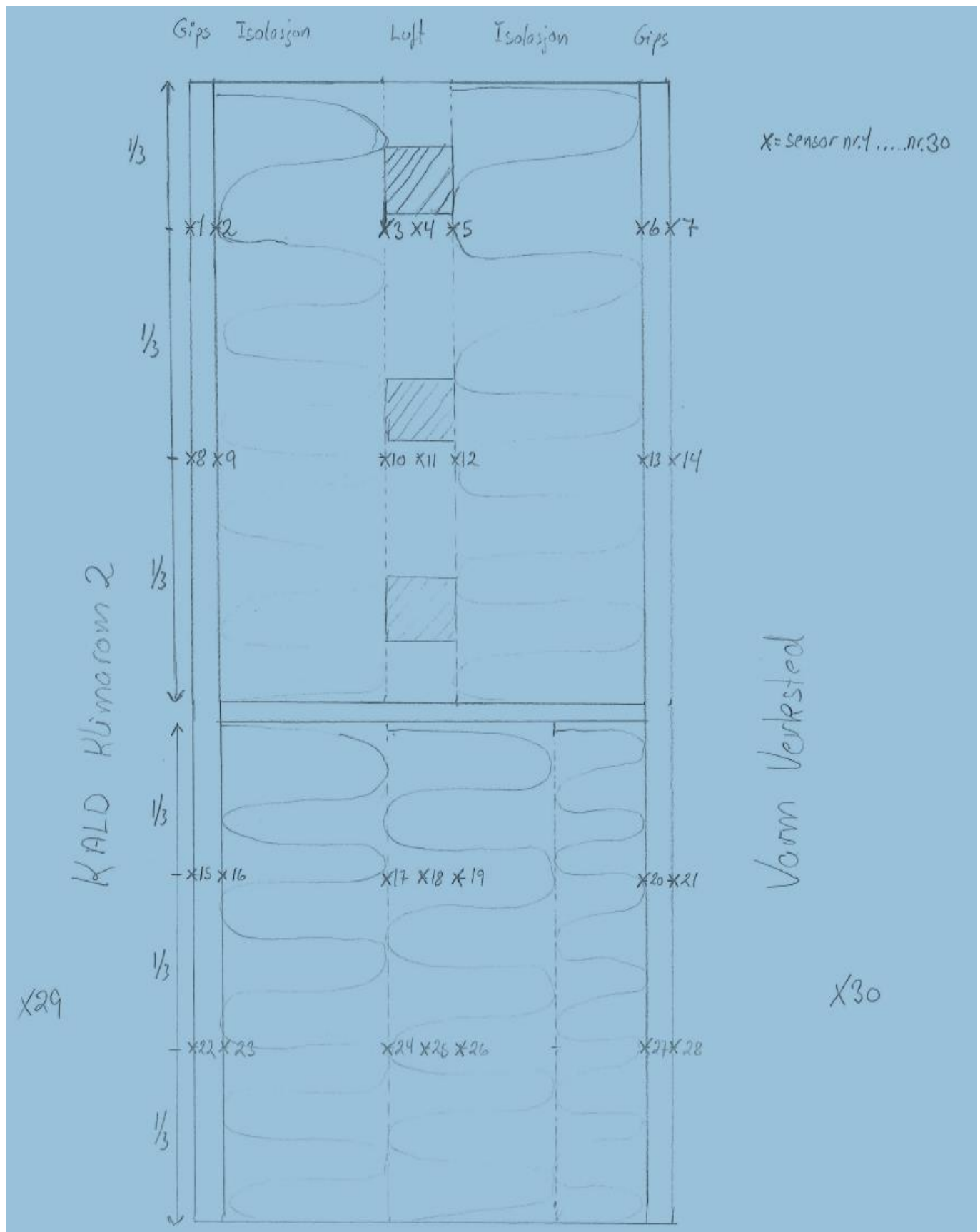
- På bildet kan man se to deler (unit 1 og 2). Delen som er delt i mange små rader er unit 1 og den andre delen er unit 2.
- Det er lurt å plassere varmetransports måle sensorene på rett plassen og deretter starte med isoleringens prosedyre. Måle sensorene må fikses først ved datamaskin der som vi kan lagre temperaturfordeling gjennom veggen for flere timer eller dager. Vi monterte alle sensorene rett på plass som er visst i følgende tabell.

### 3.1 Sensorplassering, måleoppsetting

Sensor nr.	Sensornavn	Plassering	Tilkobling	Merknad
1	A0	Gips i klimarom	LR8501 Unit 1-1	Type T termotråd
2	A1	Gips i klimarom, mot isolasjon	LR8501 Unit 1-2	
3	A2	Luftspalte mot klima	LR8501 Unit 1-3	
4	A3	Luftspalte i midten	LR8501 Unit 1-4	
5	A4	Luftspalte mot verksted	LR8501 Unit 1-5	
6	A5	Gips i verksted mot isolasjon	LR8501 Unit 1-6	
7	A6	Gips i verksted mot verksted	LR8501 Unit 1-7	
8	A7	Gips i klimarom	LR8501 Unit 1-8	
9	A8	Gips i klimarom, mot isolasjon	LR8501 Unit 1-9	
10	B3	Luftspalte mot klima	LR8501 Unit 1-10	
11	CH6	Luftspalte i midten	LR8501 Unit 1-11	
12	1	Luftspalte mot verksted	LR8501 Unit 1-12	
13	2	Gips i verksted mot isolasjon	LR8501 Unit 1-13	
14	3	Gips i verksted mot verksted	LR8501 Unit 1-14	
15	4	Gips i klimarom	LR8501 Unit 1-15	
16	P6	Gips i klimarom, mot isolasjon	LR8500 Unit 2-1	
17	P5	Isolasjon avstand som sensor nr.3	LR8500 Unit 2-2	
18	P4	Isolasjon avstand som sensor nr.4	LR8500 Unit 2-3	
19	P3	Isolasjon avstand som sensor nr.5	LR8500 Unit 2-4	
20	P2	Gips i verksted mot isolasjon	LR8500 Unit 2-5	
21	P1	Gips i verksted mot verksted	LR8500 Unit 2-6	
22	F1	Gips i klimarom	LR8500 Unit 2-7	
23	F2	Gips i klimarom, mot isolasjon	LR8500 Unit 2-8	
24	F3	Isolasjon avstand som sensor nr.3	LR8500 Unit 2-9	
25	F4	Isolasjon avstand som sensor nr.4	LR8500 Unit 2-10	
26	F5	Isolasjon avstand som sensor nr.5	LR8500 Unit 2-11	
27	F6	Gips i verksted mot isolasjon	LR8500 Unit 2-12	
28	F7	Gips i verksted mot verksted	LR8500 Unit 2-13	
29	F8	Lufttemp kjølerom	LR8500 Unit 2-14	
30	F9	Lufttemp verksted	LR8500 Unit 2-15	

Tabell 7.informasjon om sensorenes plassering på datamaskin i lab

**Plassering av sensorene i unit 1 og unit 2 er gjennomført som følgende**



Figur 55. Veggens tverrsnittet som viser montering og plassering av sensorene på vegg





Figur 56. Eksperimentet, plassering av sensorene på innvendig overflate av veggen. Bildet tatt av M Anwar



Figur 57. Eksperiment, Montering av sensorene i luftlags området. Bildet er tatt av M Anwar

**Plassering av sensorene i luft-lag området.**

*Forsøk 1, Unit1 og 2, Isolering av veggen er blitt som følgende.*



*Figur 58. Isolerings prosessen av veggen. Bildet er tatt av M Anwar*



*Figur 59. Eksperiment, Isolering prosessen av veggen. Bildet er tatt av M Anwar*

**Plassering av sensorene på utvendig (i kjølerom og i verksted) over-flater er blitt som følgende.**



Figur55, Ferdiglaget vegg for eksperimentet

Nå er veggene ferdiglaget og alle nødvendige tiltakene er gjort i henhold til planen. Varmeoverføringen gjennom veggene er gjennomført trinnvis som kommende:

I henhold til planen ville jeg gjerne sjekke veggene i fire trinn ved forskjellige temperaturer inne og ute.

1. Først trinn ved temperatur i kjølerom og verksted som skal være (-20 og +20) C° henholdsvis.
2. Andre trinn ved temperatur i kjølerom og verksted som skal være -10 C° og +20 C° henholdsvis.
3. Tredje trinn ved temperatur i kjølerom og verksted som skal være (0 og +20) C° henholdsvis.
4. Fjerde trinn ved temperatur i kjølerom og verksted som skal være (+10 og +20) C° henholdsvis.

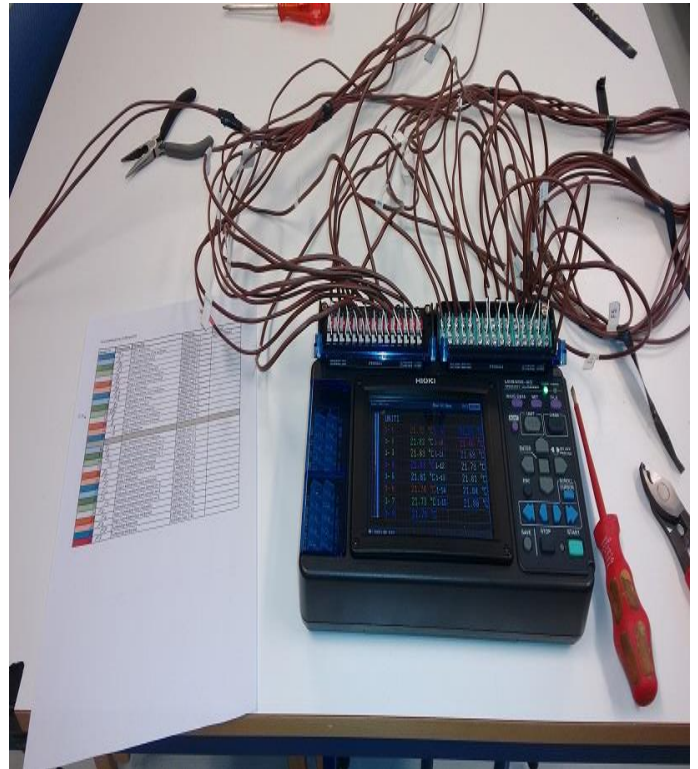
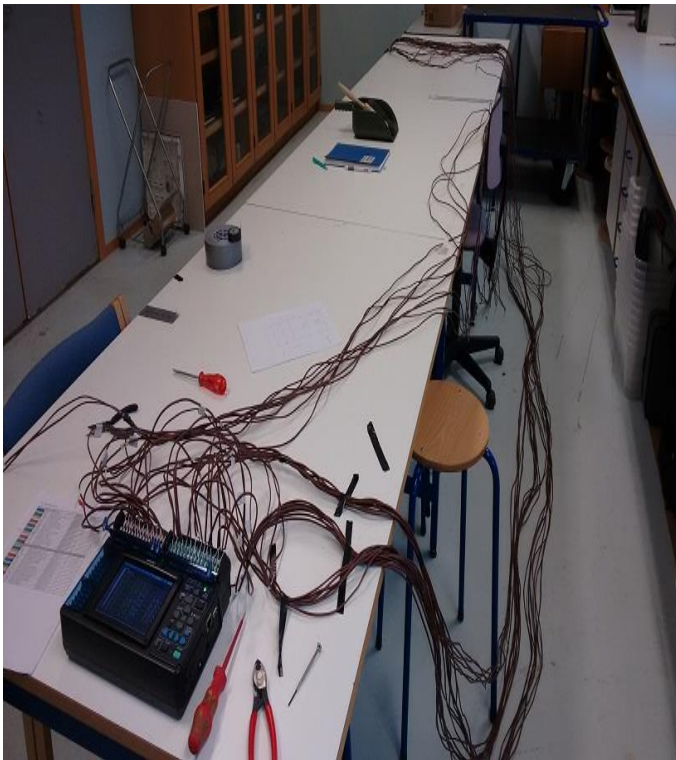
Vi vil endre temperatur når varmetransportens graf ble normalisert. I henhold til planen vil jeg fortsette med hver temperatur innstilling (setting) 24 timer for å se effekt av isolasjonen. Data fra varmeoverføringsprosessen blir registrert i data hver 10.minutt. For å gjøre det sikkert at prosessen går eller kjøres helt som det er planlagt må man sjekke prosessen ofte.

Prosjektet ble startet den åttende april i 2016 (08/04/2016) kl.11.57 ved temperatur i kjølerom i (-20 C°) og i verksted (+20 C°)



Figur56, Temperatur kontroll på lab

### Noen bilder av monteringsprosessen på datamaskinen i laben



Figur 60. Monterings prosessen av sensorene

### Noen bilder av varmeoverføringens kontroll

1. Først forsøk ble startet ved temperatur (-20 og +20) C° i kjølerom og i verksted henholdsvis.



Figur 61. Temperatures kontroll på laben



Figur 62. Temperaturens kontroll på laben

2. Andre trinnet av forsøk 1 ble startet ved temperatur (-10 og +20) i kjølerom og i verksted henholdsvis.



Figur 63. Temperaturens kontroll på laben

3. Tredje trinnet av først forsøket ble startet ved temperatur i kjølerom og verksted 0C° og +20 C° henholdsvis.



Figur 64 . Temperaturens kontroll på laben

4. Først forsøk fjerde trinnet ble startet ved temperatur i kjølerom og verksted ved +10C° og +20C°

Forsøkets data som er registrert i datamaskin kan finnes i vedlegg (1).

## Forsøk No 2

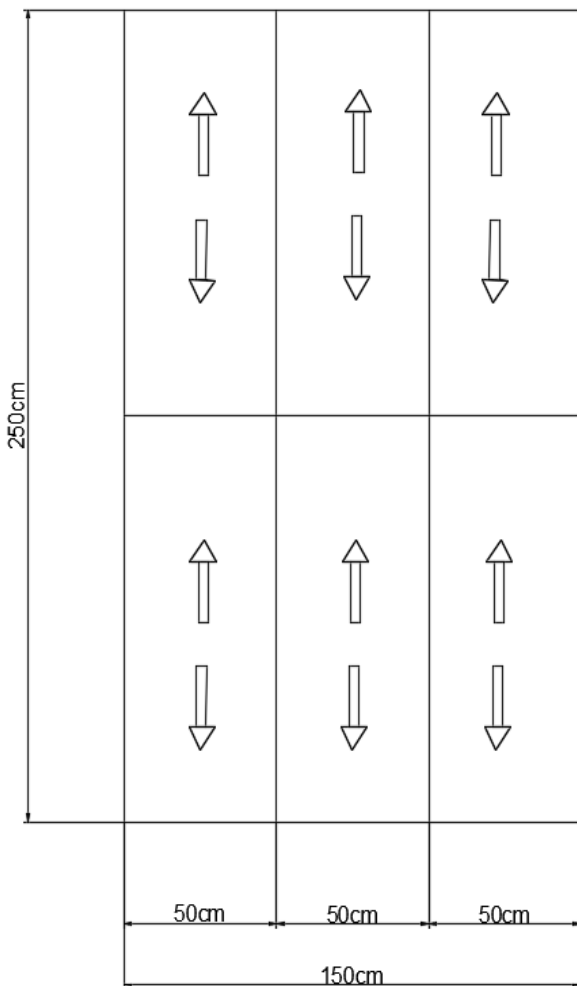
Forsøk No 2 er gjennomført ved samme måten som forsøk No 1, men den eneste forskjellen mellom forsøk 1 og forsøk 2 som er nødvendig å forklare er isolering av veggen. I forsøk No 2 er det gjort noen endringer i isoleringsprosedyre. Isolering av første lag av isolasjonen er gjennomført på det samme terminologien som vi har gjort i forsøk No 1, mens plassering av isolasjonsmaterialer i andre lag av isolasjonen er endret bare i retning i henhold til planen. Endringen på isoleringsretning hjelper oss å finne om plassering av isolasjonen har noen effekt på varmetapet gjennom veggen.

Det kan være lurt å sette noen tegninger og bilder av det viktigste prosessene som er annerledes ved forsøk No 1 og det kan gjøre det enklere og mer forståelig.

### 1. Isolering av veggen ved følgende terminologien.

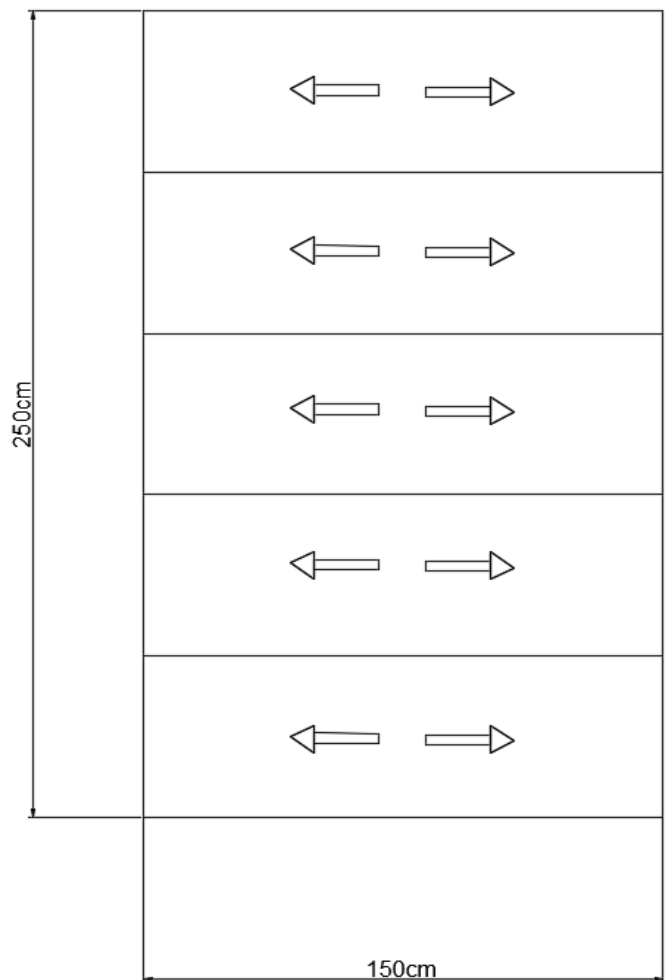
#### A. Først lag av isolasjonen

Isolasjonsretning i forsøk 2 unit 1 og 2 , først lag



#### B. Andre lag av isolasjonen

Isolasjonsretning i forsøk 2 unit 1 og 2 , andre lag



Figur 65. Unit 1 og 2 Isolasjonsretning i forsøk 2

Veggens ramme, plassering av luftlag i unit 1, Plassering av sensorene, isolering av først lag og varmetransports måling skal være det samme som i forsøk 1.

Noen bilder av isolerings prosessen som er blitt på denne måten.

### Først lag



Figur 66. Forsøk2, isolerings prosessen

### Andre lag



Figur 67. Forsøk2, isolerings prosessen for andre lag

Ekspérimentets resultater ligger i vedlegg (1)

## 6 Kapittel 4

I dette kapitelet ønskes det å beregne varmetransport gjennomveggen trinnvis i kort form. Detaljert form av beregningsprosessen kan finnes i vedlegg (2).

### 6.1 Forsøk1 unit 1 Numeriskberegning

#### Beregnings data for forsøk 1 unit 1 og temperatur (-20, +20) C°

Materialer som er brukt i vegg konstruksjonen

- a. 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- b. 56 mm Glava isolasjon  $\lambda = 0.036$
- c. 8 mm Luft lag  $\lambda = 0.025$

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_u$$

$$R_i = 0,13 \text{ (m}^2 \text{ K / w)}$$

$$R_1 = R_6 = R_{gipsplater} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.013}{0.170} = 0,0764 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$R_2 = R_5 = R_{isolasjon} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.056}{0.036} = 1,555 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$R_3 = R_4 = R_{luft} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.004}{0.025} = 0,16 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$R_u = 0,004 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$R_{tot} = ( 0,13 + 0,0764 + 1,555 + 0,16 + 0,16 + 1,555 + 0,0764 + 0,004 ) \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$R_{tot} = 3,753 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{3,753} = 0,266 \text{ w/m}^2 \text{ K}$$

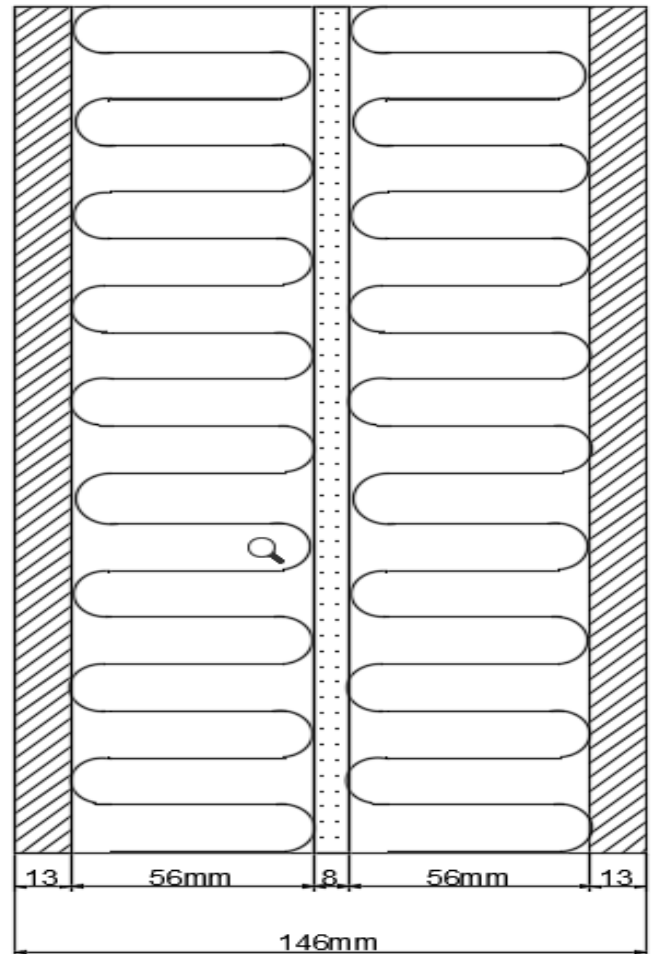
#### Varmetrasport gjennomveggen

$$q = \frac{1}{R_{tot}} \times (T_i - T_u) \text{ i ( w / m}^2 \text{)} = \frac{1}{3,753} \times (( 20,69 - (-22) \text{ C}^\circ )) = 11.375 \text{ w / m}^2$$

#### Varmeoverførings fordeling

$$q = \frac{1}{R_{tot}} \times (T_i - T_u) = T_u = T_i - q \times R_i \text{ .....( C}^\circ \text{)}$$

Alle dimensjoner er i mm  
Forsøk 1 unit1



Figur 68. Veggens tverrsnitt for unit 1



For å beregne varmetransport gjennomveggen ville jeg gjerne gjennomføre det på Excel data program som gjør det mer lettere og sikrere.

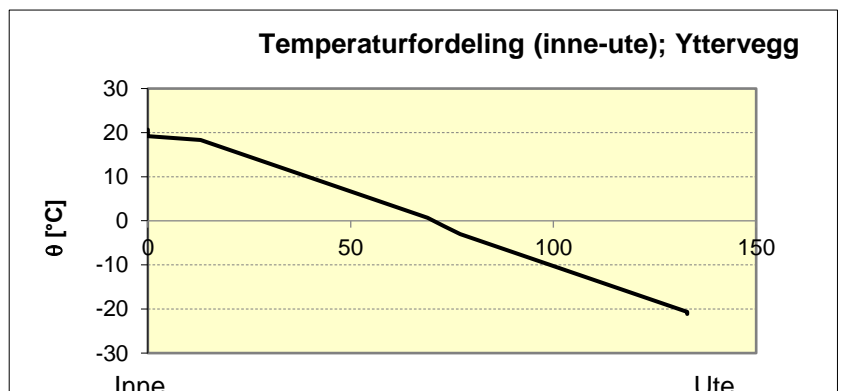
Klimadata:								
		Ute	Inne					
Temperatur:		-22	20,69	°C				
Relativ fuktighet		70	20	%				
Temperaturdifferanse inne-ute:			42,69	°C				

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
	Inne		0					20,69
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	1,48	19,21
1	Gipsplate	13	13	0,17		0,08	0,87	18,34
2	Isolasjon lag nr 1	56	69	0,036		1,56	17,69	0,65
3	luftlag	4	73	0,025		0,16	1,82	-1,17
4	luftlag	4	77	0,025		0,16	1,82	-2,99
5	Isolasjon lag nr 4	56	133	0,036		1,56	17,69	-20,68
6	Gipsplate	13	146	0,17		0,08	0,87	-21,55
u	ytre overflate		133		0,04	0,04	0,45	-21,13
	Ute							
SUM		146,0			R =	3,754	42,69	<input type="checkbox"/>
					U =	0,27		

Tabell 8. Beregning av varmeoverføring gjennom veggen

Tegning av graf for beregnet data



Figur 65. Temperaturfordelings graf

**Beregnings data for forsøk 1 unit 1 og temperatur (-10, +20) C°**

Her bregner vi varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og det samme tverrsnittet og materialvarmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte med beregningen somfølgende.

Klimadata:									
		Ute	Inne						
Temperatur:		-11,31	20,74	°C					
Relativ fuktighet		70	20	%					
Temperaturdifferanse inne-ute:		32,05		°C					

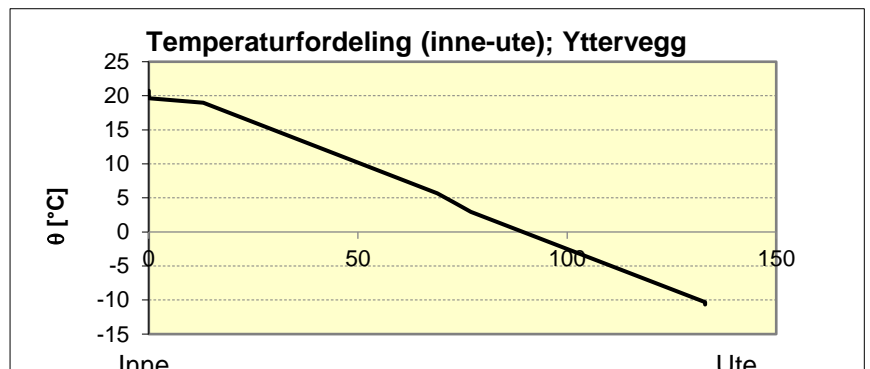
  

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
	i Indre overflate		0		0,13	0,13	1,11	20,74
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,65	19,63
			13					18,98
2	Isolasjon lag nr 1	56		0,036		1,56	13,28	5,70
			69					5,70
3	luftlag	4		0,025		0,16	1,37	4,33
			73					4,33
4	luftlag	4		0,025		0,16	1,37	2,96
			77					2,96
5	Isolasjon lag nr 4	56		0,036		1,56	13,28	-
			133					10,32
6	Gipsplate	13		0,17		0,08	0,65	-
			146					10,97
	u ytre overflate		146		0,04	0,04	0,34	-
			133					10,66
Ute								
SUM		146,0			R = 3,754		32,05	□

**U = 0,27**

Tabell 9. Beregnings data for varmeoverføring gjennom veggen

Tegning av graf for beregnet data



Figur 69. Temperaturfordelings graf

**Beregnings data for forsøk 1 unit 1 og temperatur (0, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og det samme tverrsnittet og materialvarmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen for trinn 3 ved temperatur (0, +20) som følgende.

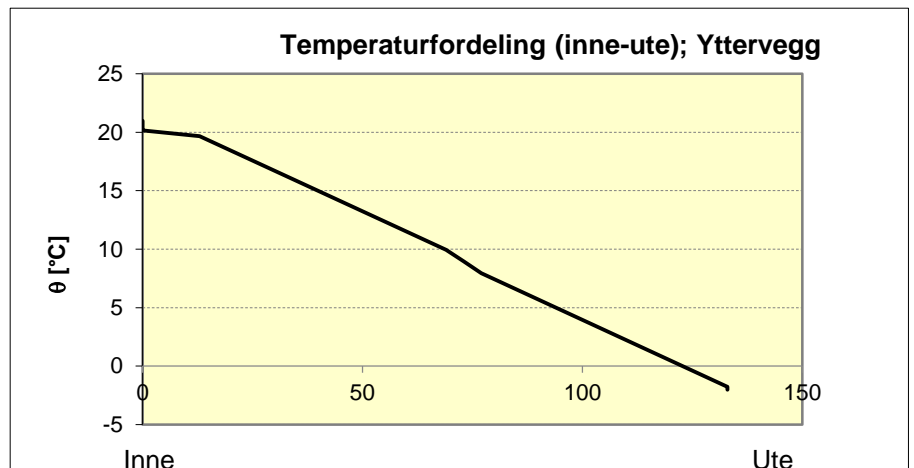
Klimadata:								
		Ute	Inne					
Temperatur:		-2,5	20,97	°C				
Relativ fuktighet		70	20	%				
Temperaturdifferanse inne-ute:		23,47		°C				

Sjikt nr	Type	D [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
	Inne		0					20,97
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	0,81	20,16
1	Gipsplate	13	13	0,17		0,08	0,48	19,68
2	Isolasjon lag nr 1	56	69	0,036		1,56	9,73	9,95
3	Luftlag	4	73	0,025		0,16	1,00	8,95
4	Luftlag	4	77	0,025		0,16	1,00	7,95
5	Isolasjon lag nr 4	56	133	0,036		1,56	9,73	-1,77
6	Gipsplate	13	146	0,17		0,08	0,48	-2,25
u	Ytre overflate		133		0,04	0,04	0,25	-2,02
	Ute							
SUM		146,0			R =	3,754	23,47	
					U =	0,27		

Tabell 10. Beregningsdata for varmetransporten gjennomveggen

Tegning av graf for beregnet data



Figur 70. varmetransportsfordelings graf

**Beregnings data for forsøk 1 unit 1 og temperatur (+10, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og det samme tverrsnittet og materialvarmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen for trinn 3 ved temperatur (0, +20) som følgende.

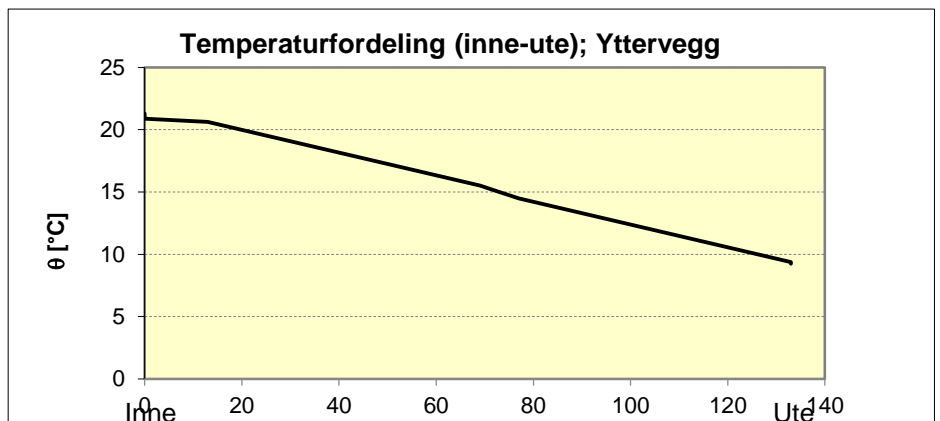
Klimadata:								
	Ute	Inne						
Temperatur:	9	21,3	°C					
Relativ fuktighet	70	20	%					
Temperaturdifferanse inne-ute:	12,3		°C					

Sjikt nr	Type	D [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	0,43	21,30
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,25	20,87
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	5,10	20,62
3	luftlag	4	69	0,025		0,16	0,52	15,53
4	luftlag	4	73	0,025		0,16	0,52	15,00
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	5,10	14,48
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,25	9,38
u	ytre overflate		146		0,04	0,04	0,13	9,13
Ute								
SUM		146,0		R = 3,754		12,30		□
				U = 0,27				

Tabell 11. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Tegning av graf for beregnet data



Figur 71. Varmetransportsfordelings graf

### Forsøk 1 unit2 Numeriskberegninger

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og materialer ved samme varmeledningsevne, men ved forandring i tverrsnittet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

### Beregnings data for forsøk 1 unit 2 og temperatur ( -20, +20) C°

Materialer som er brukt i vegg konstruksjonen

- d. 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- e. Glava isolasjon  $\lambda = 0.036$
- f. 8 mm Luft lag  $\lambda = 0.025$

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_u$$

$$R_i = 0,13 \text{ (M}^2 \text{ K / w)}$$

$$R_u = 0,004 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

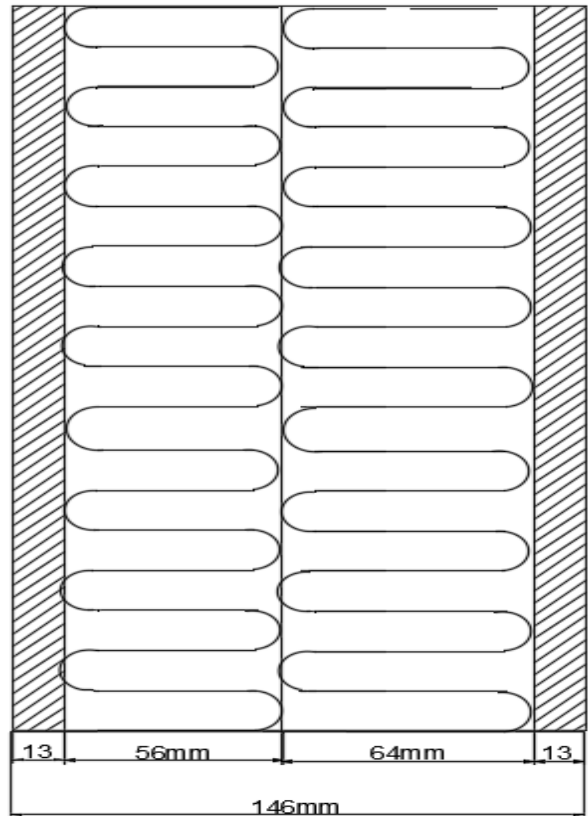
$$R_1 = R_6 = R_{gipsplater} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.013}{0.170} = 0,0764 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$R_2 = R_5 = R_{isolasjon} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.056}{0.036} = 1,555 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$R_3 = R_4 = 0,11 \text{ (M}^2 \text{ k/w)}$$

$$U = 0,27$$

Alle dimensjoner er i mm  
Forsøk 1 unit 2



Figur 72. tverrsnittet er til unit 2

### Varmetransport gjennomveggen

$$q = \frac{1}{R_{tot}} \times (T_i - T_u) \text{ i ( w / m}^2 \text{)} = \frac{1}{3,753} \times (( 21,5 - ( -22,8) \text{ C}^\circ ) = 11.80 \text{ w / m}^2$$

### Varmeoverføring fordeling

$$q = \frac{1}{R_{tot}} \times ( T_i - T_u ) =$$

$$T_u = T_i - q \times R_i \text{ .....( C}^\circ \text{)}$$

Tabellen består eller omfattes av alle de nødvendige beregningene.

For å beregne varmetransport gjennomveggen skulle det gjennomføres i Excel data program som gjør det mer lettere og sikrere.

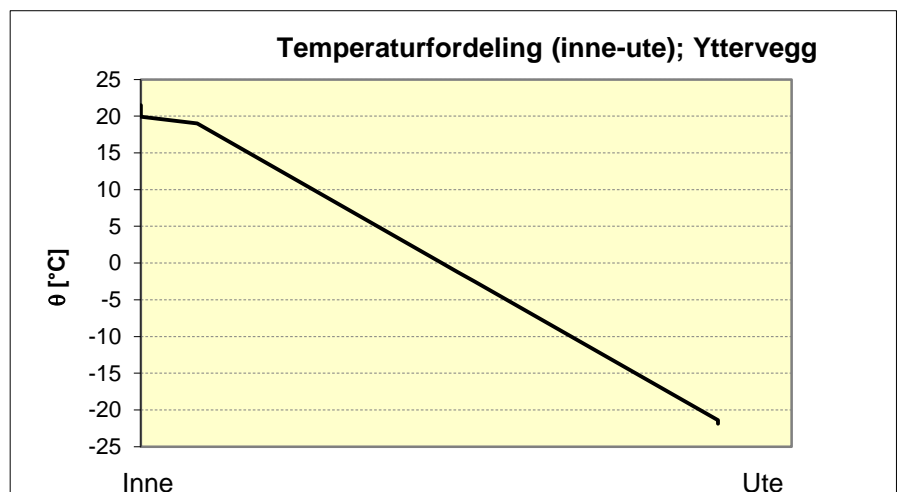
Klimadata:								
	Ute	Inne						
Temperatur:	-22,8	21,5 °C						
Relativ fuktighet	70	20 %						
Temperaturdifferanse inne-ute:	44,3 °C							

Sjikt nr	Type	D [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
	i		0		0,13	0,13	1,58	21,50
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,93	19,92
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	18,85	19,00
3	Isolasjon lag nr 2	4	69	0,036		0,11	1,35	0,15
4	Isolasjon lag nr 3	4	73	0,036		0,11	1,35	-1,20
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	18,85	-2,54
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,93	-21,39
	u		146		0,04	0,04	0,48	-22,32
Ute								
SUM		146,0		R =		3,656	44,30	□
				U =		0,27		

Tabell 12. beregnings data for varmetransporten gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen.



Figur 73. Varmeoverføring fordelings graf

**Beregnings data for forsøk 1 unit 2 og temperatur (-10, +20) C°**

Her bregnes varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materialer varmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

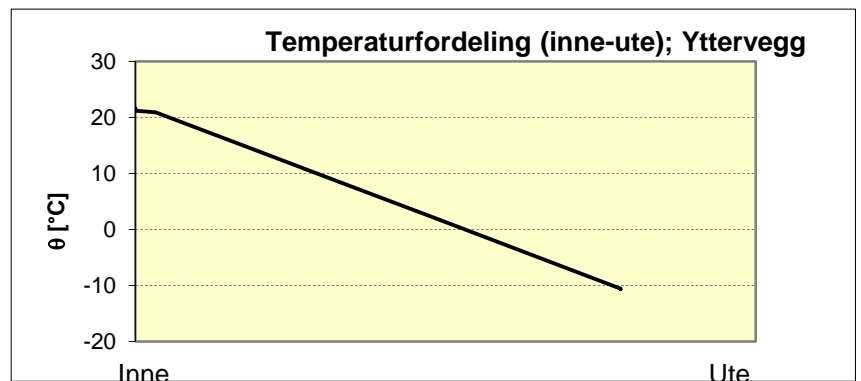
Klimadata:								
		Ute	Inne					
Temperatur:		-11	21,7	°C				
Relativ fuktighet		70	20	%				
Temperaturdifferanse inne-ute:		32,7		°C				

Sjikt nr	Type	D [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
	Inne		0					21,70
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	0,49	21,21
1	Gipsplate	13	13	0,17		0,08	0,29	20,92
2	Isolasjon lag nr 1	56	69	0,036		1,56	5,88	15,04
3	Isolasjon lag nr 2	60	129	0,036		1,67	6,30	8,75
4	Isolasjon lag nr 3	64	193	0,036		1,78	6,72	2,03
5	Isolasjon lag nr 4	120	313	0,036		3,33	12,59	-10,56
6	Gipsplate	13	326	0,17		0,08	0,29	-10,85
u	ytre overflate		313		0,04	0,04	0,15	-10,71
	Ute							
SUM		326,0			R =	8,656	32,70	□
					U =	0,12		

Tabell 13. Beregningsdata for varmeoverføring

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 74. Varmeoverføringsfordeling graf

**Beregnings data for forsøk 1 unit 2 og temperatur (0, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materialer varmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

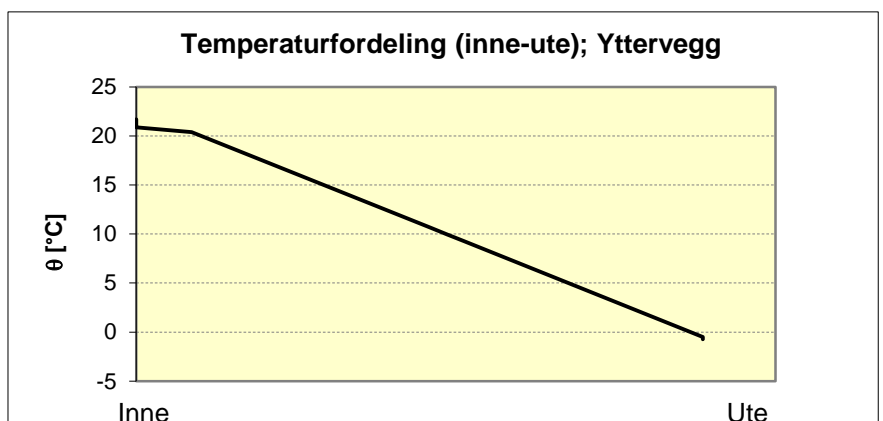
Klimadata:								
	Ute	Inne						
Temperatur:	-1,23	21,7 °C						
Relativ fuktighet	70	20 %						
Temperaturdifferanse inne-ute:	22,93 °C							

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	0,82	21,70
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,48	20,88
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	9,76	20,41
3	Isolasjon lag nr 2	4	69	0,036		0,11	0,70	10,65
4	Isolasjon lag nr 3	4	73	0,036		0,11	0,70	9,95
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	9,76	9,26
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,48	-0,50
u	ytre overflate		146		0,04	0,04	0,25	-0,98
Ute								
SUM		146,0		R = 3,656		22,93		<input type="checkbox"/>
				U = 0,27				

Tabell 14. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 75. Varmeoverføringsfordeling graf



**Beregnings data for forsøk 1 unit 2 og temperatur (+10, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materialer varmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

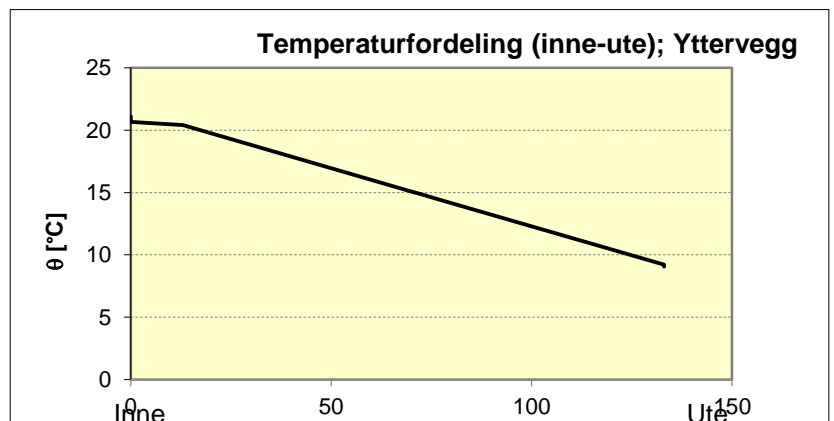
Klimadata:								
	Ute	Inne						
Temperatur:	8,81	21,1 °C						
Relativ fuktighet	70	20 %						
Temperaturdifferanse inne-ute:	12,29 °C							

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	0,44	21,10
			0					20,66
1	Gipsplate	13	13	0,17		0,08	0,26	20,41
2	Isolasjon lag nr 1	56	69	0,036		1,56	5,23	15,18
3	Isolasjon lag nr 2	4	73	0,036		0,11	0,37	14,80
4	Isolasjon lag nr 3	4	77	0,036		0,11	0,37	14,43
5	Isolasjon lag nr 4	56	133	0,036		1,56	5,23	9,20
6	Gipsplate	13	146	0,17		0,08	0,26	8,94
u	ytre overflate		133		0,04	0,04	0,13	9,07
Ute								
SUM		146,0		R = 3,656		12,29		□
				U = 0,27				

Tabell 15. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 76. Varmeoverføringsfordeling graf.

## 6.2 Forsøk 2 unit1 Numeriskberegning

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og materialer ved samme varmeledningsevne og ved samme tverrsnittet. Den eneste forskjellen mellom forsøk 1 og 2 er bare den isoleringsterminologien som er forandret.

### Beregnings data for forsøk 2 unit 1 og temperatur (-20, +20) C°

Materialer som er brukt i vegg konstruksjonen

er som følgende :

- g. 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- h. 56 mm Glava isolasjon  $\lambda = 0.036$
- i. 8 mm Luft lag  $\lambda = 0.025$
- j. 56 mm tykke samme isolasjonsmateriale
- k. 13 mm gipsplater

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_u$$

#### Varmetransport gjennomveggen

$$q = 1 / R_t \times \Delta T \quad i \quad (w / m^2)$$

Hvor  $\Delta T$  er:

$$T_i - T_u$$

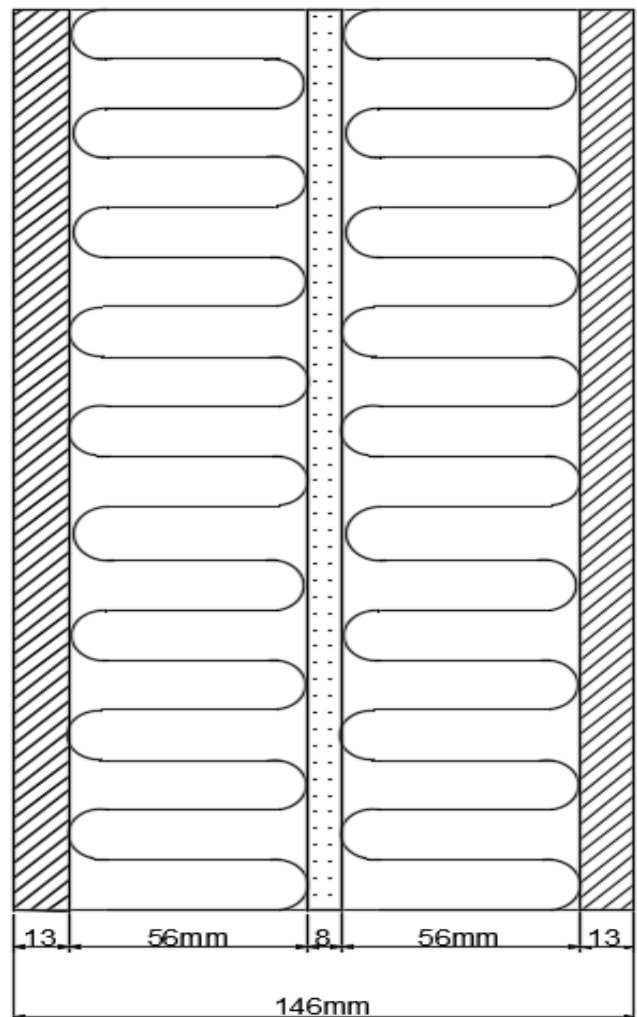
#### Varmeoverføring fordeling:

$$q = \frac{1}{R_{tot}} \times (T_i - T_u) =$$

$$T_u = T_i - q \times R_i \quad \dots\dots\dots (C^\circ)$$

Alle dimensjoner er i mm

Forsøk 2 unit1



Figur 77. Veggens tverrsnitt for unit1

For å beregne varmetransport gjennomveggen skulle det gjennomføres i Excel data programmet som gjør det mer enklere og sikrere.

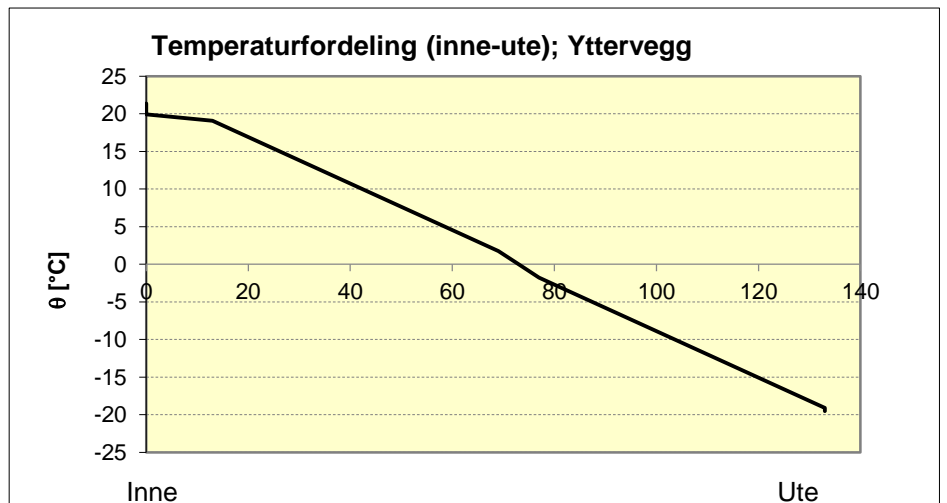
Klimadata:								
	Ute	Inne						
Temperatur:	-20,38	21,37	°C					
Relativ fuktighet	70	20	%					
Temperaturdifferanse inne-ute:	41,75		°C					

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
			0					21,37
i	Indre overflate				0,13	0,13	1,45	19,92
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,85	19,07
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	17,30	1,77
3	luftlag	4	69	0,025		0,16	1,78	-0,01
4	luftlag	4	73	0,025		0,16	1,78	-1,78
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	17,30	-19,08
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,85	-19,94
u	ytre overflate		146		0,04	0,04	0,44	-19,53
Ute								
SUM		146,0			R = 3,754		41,75	<input type="checkbox"/>
					U = 0,27			

Tabell 1 6, Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 78. Varmeoverføringsfordeling graf

**Beregnings data for forsøk 2 unit 1 og temperatur (-10, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materialer varmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

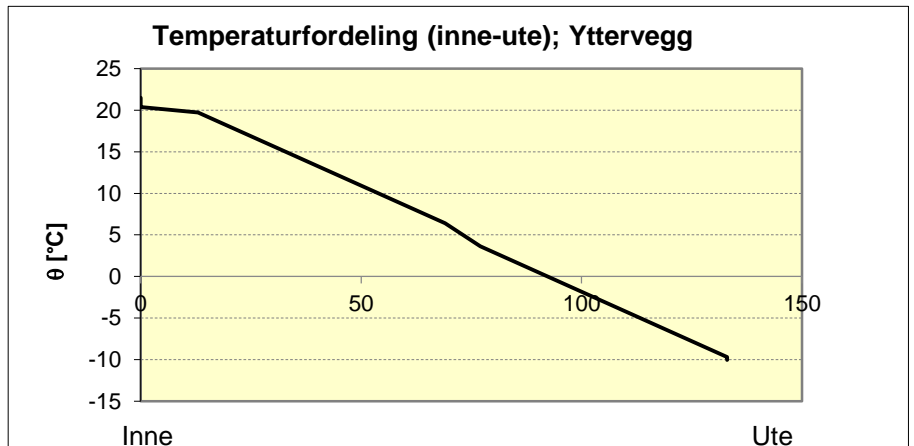
Klimadata:								
	Ute	Inne						
Temperatur:	-10,7	21,5	°C					
Relativ fuktighet	70	20	%					
Temperaturdifferanse inne-ute:	32,2		°C					

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	1,12	21,50
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,66	20,38
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	13,34	19,73
3	luftlag	4	69	0,025		0,16	1,37	6,39
4	luftlag	4	73	0,025		0,16	1,37	5,01
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	13,34	3,64
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,66	-9,70
u	ytre overflate		146		0,04	0,04	0,34	-10,36
Ute								
SUM		146,0		R = 3,754		32,20		□
				U = 0,27				

Tabell 16. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 79. Varmeoverføringsfordeling graf

**Beregnings data for forsøk 2 unit 1 og temperatur (0, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materialer varmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

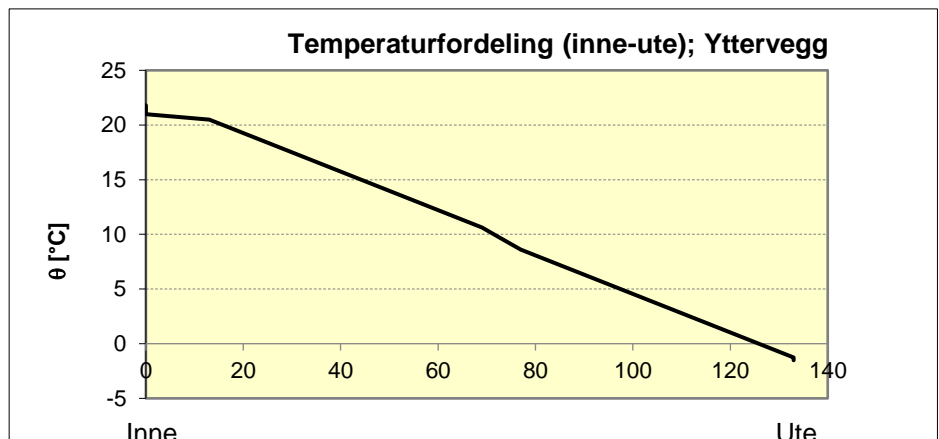
Klimadata:								
		Ute	Inne					
Temperatur:		-2	21,8	°C				
Relativ fuktighet		70	20	%				
Temperaturdifferanse inne-ute:		23,8		°C				

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
	Inne		0					21,80
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	0,82	20,98
1	Gipsplate	13	13	0,17	0,08	0,08	0,48	20,49
2	Isolasjon lag nr 1	56	69	0,036	1,56	1,56	9,86	10,63
3	luftlag	4	73	0,025	0,16	0,16	1,01	9,61
4	luftlag	4	77	0,025	0,16	0,16	1,01	8,60
5	Isolasjon lag nr 4	56	133	0,036	1,56	1,56	9,86	-1,26
6	Gipsplate	13	146	0,17	0,08	0,08	0,48	-1,75
u	ytre overflate		133		0,04	0,04	0,25	-1,52
	Ute							
SUM		146,0			R =	3,754	23,80	<input type="checkbox"/>
					U =	0,27		

Tabell 17. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 80. Varmeoverføringsfordeling graf

### Beregnings data for forsøk 2 unit 1 og temperatur (+10, +20) C°

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materialer varmeledningsevne som første trinnet. For å gjøre det kortere startes direkte ved beregningen somfølgende.

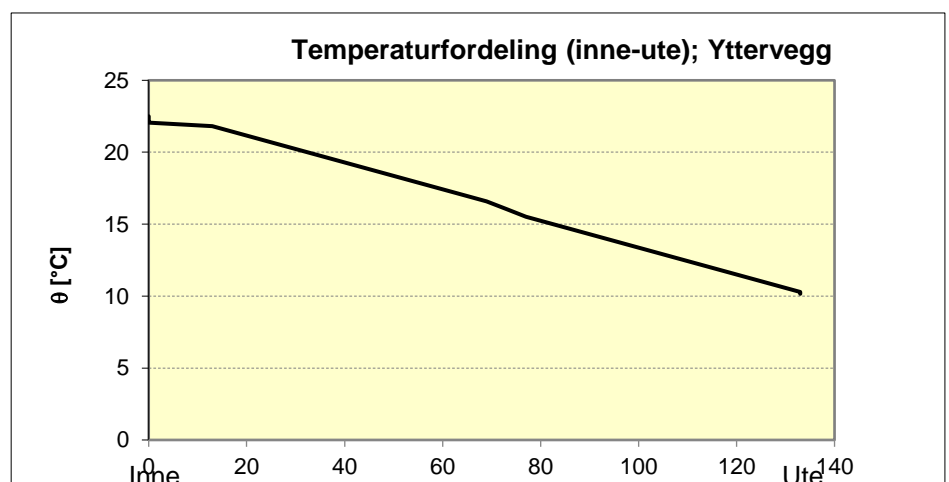
Klimadata:		Ute		Inne					
Temperatur:		9,9		22,5		°C			
Relativ fuktighet		70		20		%			
Temperaturdifferanse inne-ute:				12,6		°C			

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
	i		0					22,50
	Indre overflate				0,13	0,13	0,44	22,06
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,26	21,81
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	5,22	16,59
3	luftlag	4	69	0,025		0,16	0,54	16,05
4	luftlag	4	73	0,025		0,16	0,54	15,51
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	5,22	10,29
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,26	10,03
	u		146					10,16
	ytre overflate				0,04	0,04	0,13	
Ute								
SUM		146,0		R =		3,754	12,60	
				U =		0,27		

Tabell 18. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 81. Varmeoverføringsfordeling graf

### 6.3 Forsøk 2 unit2 Numeriskberegning

Her bregnes varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og materialer ved samme varmeledningsevne i fire trinn, men ved forandring i tverrsnittet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

#### Beregnings data for forsøk 2 unit 2 og temperatur ( -20, +20) C°

Materialer som er brukt i vegg konstruksjonen

- l. 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- m. Glava isolasjon  $\lambda = 0.036$
- n. 8 mm Luft lag  $\lambda = 0.025$

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_u$$

#### Varmetransport gjennomveggen

$$q = 1 / R_t \times \Delta T \quad i \quad (w / m^2)$$

Hvor  $\Delta T$  er:

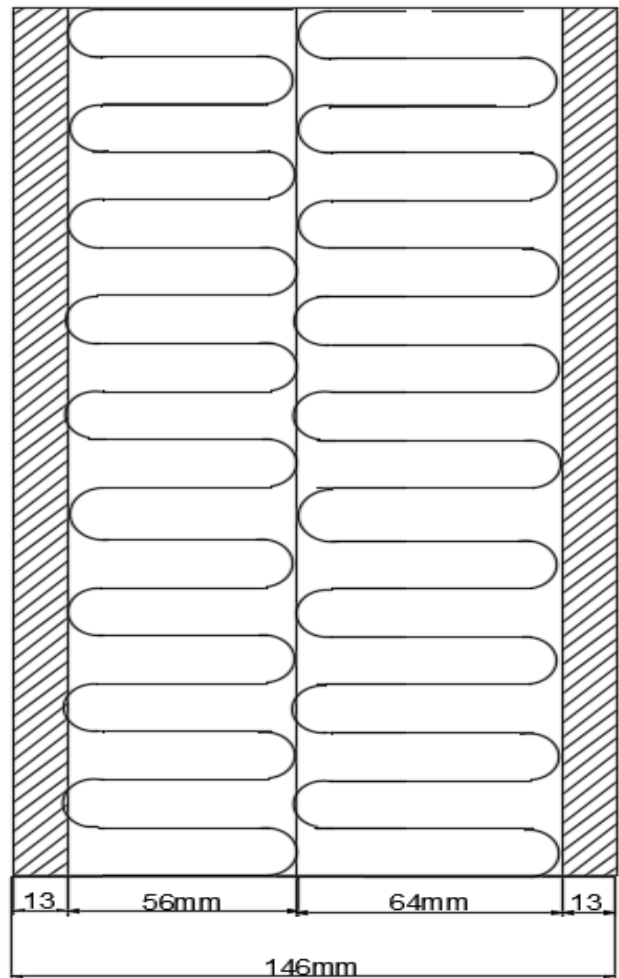
$$T_i - T_u$$

#### Varmeoverføring fordeling

$$q = \frac{1}{R_{tot}} \times (T_i - T_u) =$$

$$T_u = T_i - q \times R_i \quad \dots\dots\dots(C^\circ)$$

Alle dimensjoner er i mm  
Forsøk 1 unit 2



Figur 82. Veggens tverrsnitt for unit2

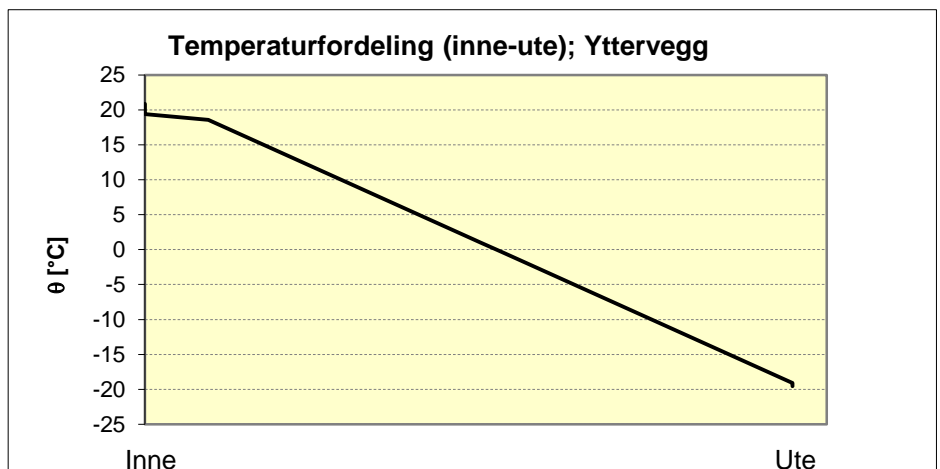
For å beregne varmetransport gjennomveggen skulle det gjennomføres i Excel data program som gjør det mer enklere og sikrere.

Først trinnet ved Temperatur ( -20,4 + 20,9) C°

Klimadata:								
		Ute	Inne					
Temperatur:		-20,4	20,9	°C				
Relativ fuktighet		70	20	%				
Temperaturdifferanse inne-ute:			41,3 °C					
Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
	i		0		0,13	0,13	1,47	20,90
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,86	19,43
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	17,57	18,57
3	Isolasjon lag nr 2	4	69	0,036		0,11	1,26	1,00
4	Isolasjon lag nr 3	4	73	0,036		0,11	1,26	-0,26
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	17,57	-1,51
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,86	-19,08
	u		146		0,04	0,04	0,45	-19,95
Ute								
SUM		146,0			R =	3,656	41,30	<input type="checkbox"/>
					U =	0,27		

Tabell 19. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 83. Temperaturfordelings graf



**Beregnings data for forsøk 2 unit 2 og temperatur (-10, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materialer varmeledningsevne i dette andre trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

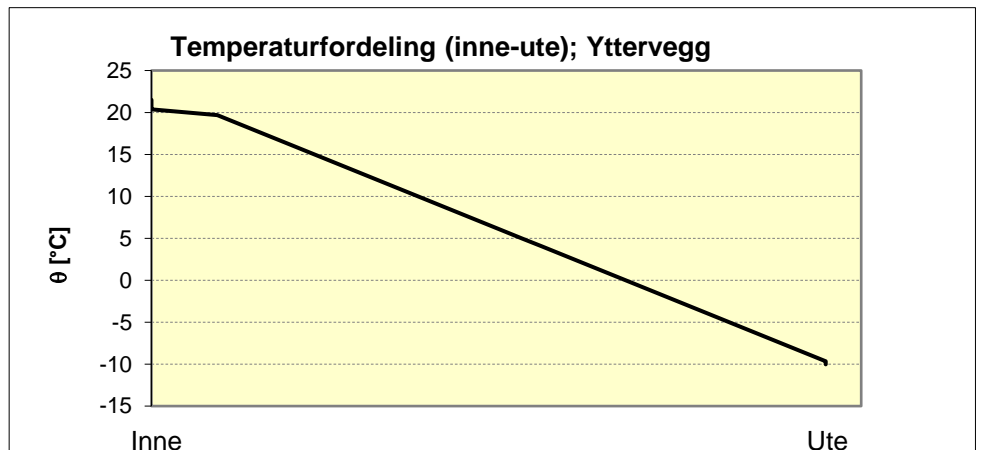
Klimadata:								
		Ute	Inne					
Temperatur:		-10,7	21,5	°C				
Relativ fuktighet		70	20	%				
Temperaturdifferanse inne-ute:			32,2 °C					

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
	i		0		0,13	0,13	0,48	21,50
	1	Gipsplate	13	0,17		0,08	0,28	21,02
	2	Isolasjon lag nr 1	56	0,036		1,56	5,79	20,73
	3	Isolasjon lag nr 2	60	0,036		1,67	6,20	14,95
	4	Isolasjon lag nr 3	64	0,036		1,78	6,61	8,75
	5	Isolasjon lag nr 4	120	0,036		3,33	12,40	2,13
	6	Gipsplate	13	0,17		0,08	0,28	-10,27
	u	ytre overflate			0,04	0,04	0,15	-10,55
Ute								
SUM		326,0		R = 8,656		32,20		<input type="checkbox"/>
				U = 0,12				

Tabell 20. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 84. Temperaturfordelings graf

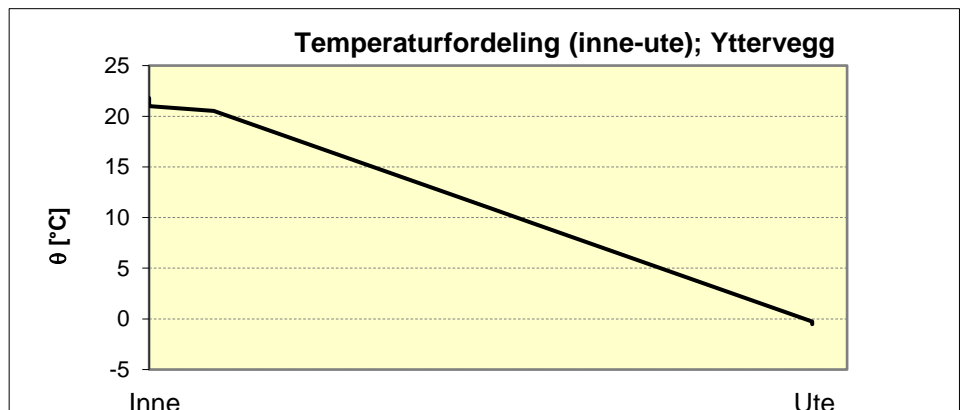
**Beregnings data for forsøk 2 unit 2 og temperatur (0, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materials varmeledningsevne i dette tredje trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

Klimadata:								
		Ute	Inne					
Temperatur:		-1	21,8	°C				
Relativ fuktighet		70	20	%				
Temperaturdifferanse inne-ute:			22,8 °C					
Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	0,81	21,80
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,48	20,99
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	9,70	20,51
3	Isolasjon lag nr 2	4	69	0,036		0,11	0,69	10,81
4	Isolasjon lag nr 3	4	73	0,036		0,11	0,69	10,12
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	9,70	9,43
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,48	-0,27
u	ytre overflate		146		0,04	0,04	0,25	-0,75
Ute								
SUM		146,0		R = 3,656		22,80		<input type="checkbox"/>
				U = 0,27				

Tabell 21. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 85. Varmeoverføringsfordelings graf

**Beregnings data for forsøk 2 unit 2 og temperatur (+10, +20) C°**

Her bregnes det varmetransporten gjennomveggen ved samme prosedyre og ved samme tverrsnittet og ved like materialers varmeledningsevne i dette fjerde trinnet. For å gjøre det kortere startes det direkte ved beregningen somfølgende.

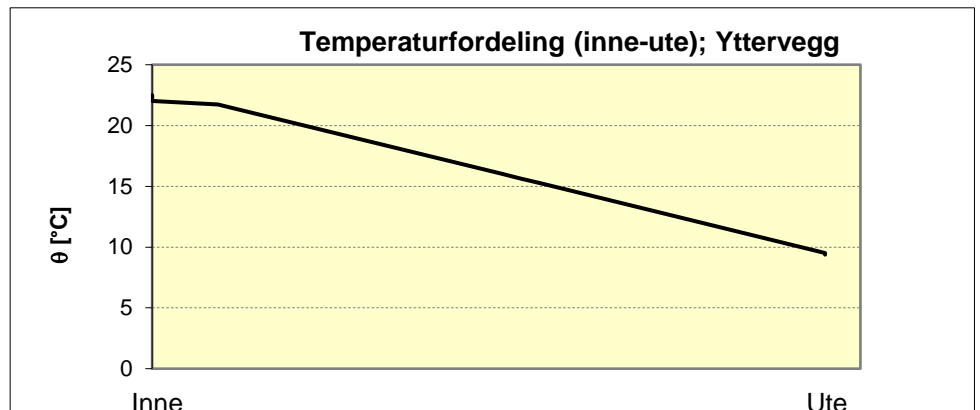
Klimadata:								
		Ute	Inne					
Temperatur:		9,1	22,5	°C				
Relativ fuktighet		40	20	%				
Temperaturdifferanse inne-ute:			13,4 °C					

Sjikt nr	Type	d [mm]	x [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	R [m²K/W]	$\Delta\theta$ °C	$\theta$ °C
Inne								
i	Indre overflate		0		0,13	0,13	0,48	22,50
1	Gipsplate	13	0	0,17		0,08	0,28	22,02
2	Isolasjon lag nr 1	56	13	0,036		1,56	5,70	21,74
3	Isolasjon lag nr 2	4	69	0,036		0,11	0,41	16,04
4	Isolasjon lag nr 3	4	73	0,036		0,11	0,41	15,64
5	Isolasjon lag nr 4	56	77	0,036		1,56	5,70	15,23
6	Gipsplate	13	133	0,17		0,08	0,28	9,53
u	ytre overflate		146		0,04	0,04	0,15	9,25
Ute								
SUM		146,0		R = 3,656		13,40		□
				U = 0,27				

Tabell 22. Beregningsdata for varmeoverføring gjennomveggen

Grafen viser varmeoverføring gjennomveggen



Figur 86. Energitransportfordelings graf

## 7 Kapittel 5

### 7.1 Varmeoverførings simulerings seksjon

I dette kapitelet skal det skrives om simulering av varmeoverføring gjennomveggen for å se etter nodal temperatur i hver sjikt av kompositt veggen. Simuleringen er blitt gjennomført i henholdt til planen i fire trinner trinnvis. Både eksperimentet og beregning av varmetransporten gjennom veggen er gjennomført i henhold til planen i fire trinner trinnvis og i simuleringen av varmeoverføring gjennomveggen skal følge den samme terminologien. Valg av temperatur grader må være fra eksperiment data som vil hjelpe oss å få like resultater i både eksperiment, beregning og simulering av varmeoverføring i systemet. Simuleringen ble gjort for en bestemt temperatur som ble valgt av eksperimentelle data i kjølerom og i verksted som varme omgivelsen. Varmeoverføringsfordeling er gjennomført ved hjelp av Ansys (Mechanical APDL Product Launcher 16.2) både i steady-state og transiente former. Først simuleringen er blitt gjennomført ved temperatur innvendig  $-20\text{C}^{\circ}$  og utvendig temperatur  $+20\text{C}^{\circ}$ .

- Andre trinnet av simuleringen er gjennomført ved innvendig temperatur  $-10\text{C}^{\circ}$  og utvendig temperatur  $+20\text{C}^{\circ}$
- Det tredje trinnet av simuleringen er blitt gjennomført ved innvendig og utvendig temperatur  $0\text{C}^{\circ}$  og  $+20\text{C}^{\circ}$  henholdsvis.
- Det fjerde trinnet av simuleringen er gjennomført ved temperatur av  $(+10\text{C}^{\circ}$  og  $+20\text{C}^{\circ})$  , innvendig og utvendig henholdsvis.

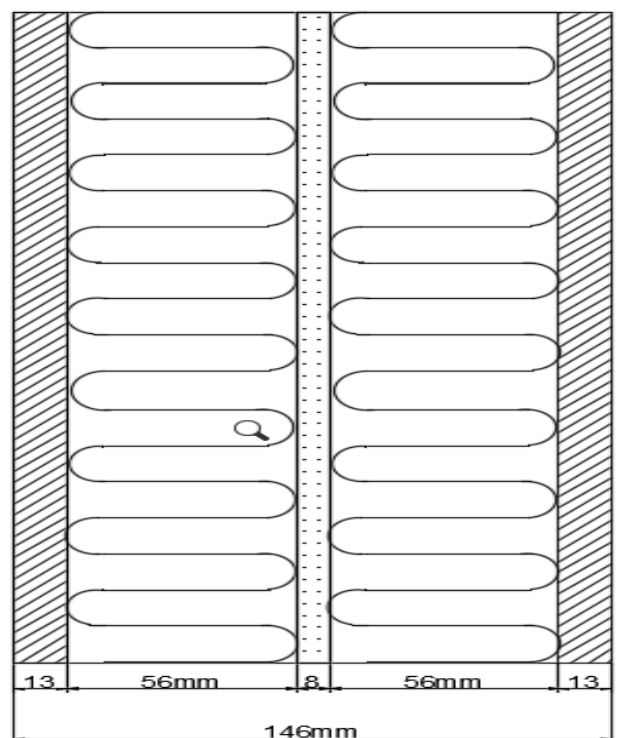
Materialer som er brukt i veggen i unit1 er som følgende

- 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- 56 mm Glava isolasjon  $\lambda = 0.036$
- Spesifikk varme av Glava isolasjon =  $650\text{ (J / kg. K)}$
- Densitet av Galva isolasjonen er  $48\text{ kg}$
- 8 mm Luft lag  $\lambda = 0.025$
- Spesifikk varme av luft =  $1005\text{ (J / Kg k)}$
- Densitet av luft er =  $1,2\text{ kg / m}^3$
- 56 mm tykke samme isolasjonsmateriale  $\lambda = 0.036$
- 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$

Spesifikkvarme av gipsplater =  $1090\text{ (J / kg. k)}$

Densitet av 13mm gipsplater =  $785\text{ kg / m}^3$

Alle dimensjoner er i mm  
Forsøk 1 unit1



Figur 87. Veggens tverrsnitt for unit 1

7.1.1 Forsøk 1 unit 1 og temperatur (-20, +20) C°

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 1 og temperatur (-20, +20) C°

Nodal temperatur i hver sjikt av veggen.

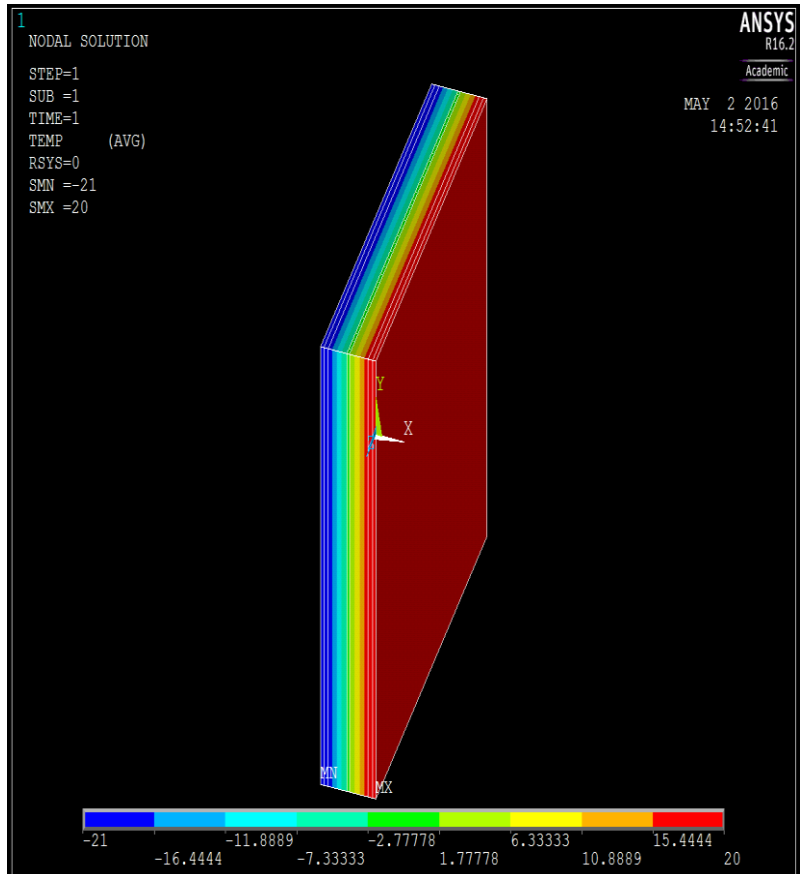
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

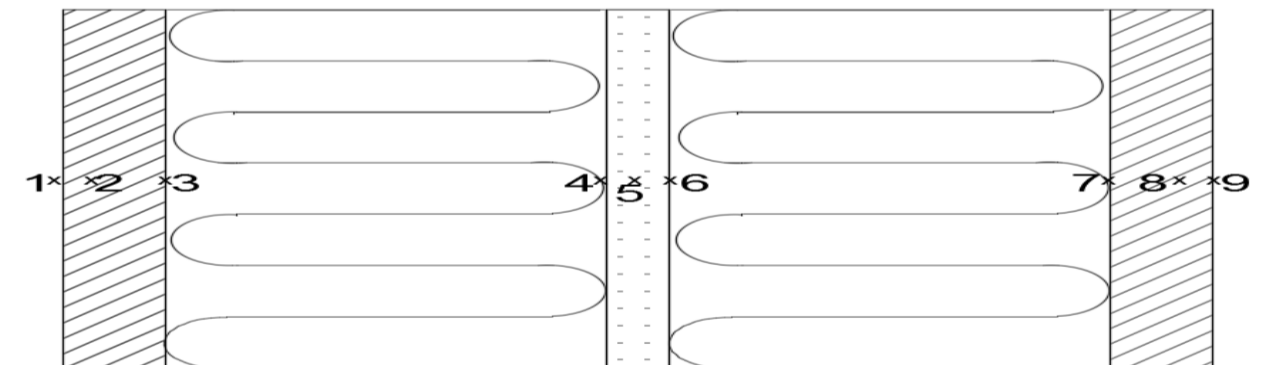
NODE	TEMP
1	-21.000
2	-20.962
3	-20.090
4	-2.3443
5	-0.51901
6	1.3062
7	19.052
8	19.924
9	20.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
NODE 1  
VALUE -21.000



Figur88. Varmetransportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launcher)

Tversnittet er for forsøk 1 unit 1 og ble brukt for simulering av både trinn 1, trinn 2, trinn 3 og trinn 4. Det eneste forskjellen mellom de trinnene er at vi endrer bare temperatur og følger det samme terminologien for å simulere.



Figur 89. Tversnittet er blitt brukt for varmeoverføringsimulering

Detaljer simulering data kan fines i vedlegg No (3 )

**Forsøk 1 unit 1 og temperatur (-10, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 1 og temperatur (-10, +20) C°

```

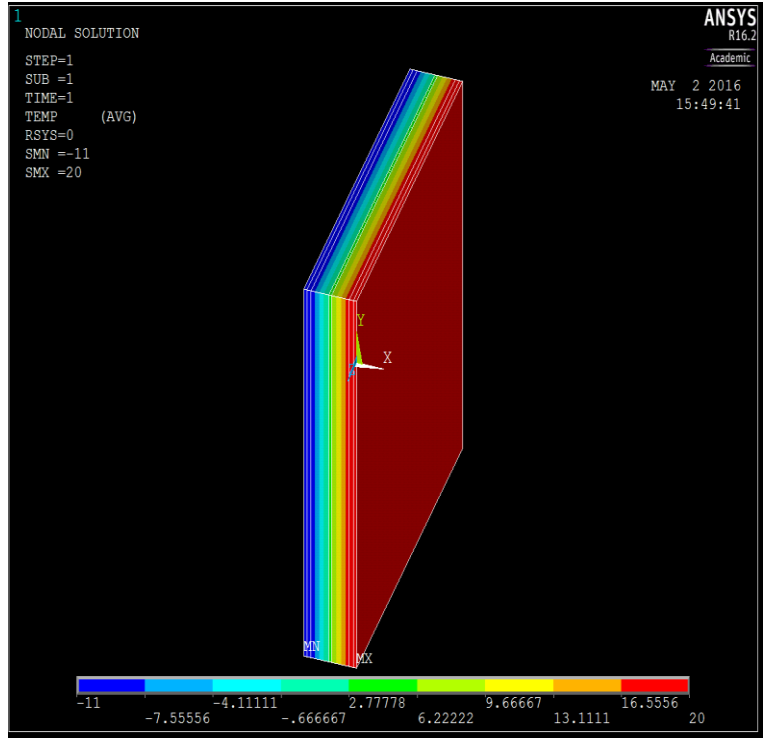
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE    TEMP
1      -11.000
2      -10.971
3      -10.312
4       3.1056
5       4.4856
6       5.8657
7      19.283
8      19.942
9      20.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE    9
VALUE   20.000
    
```



**Forsøk 1 unit 1 og temperatur (0, +20) C°**

Figur90.Varmetransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 1 og temperatur (0, +20) C°

```

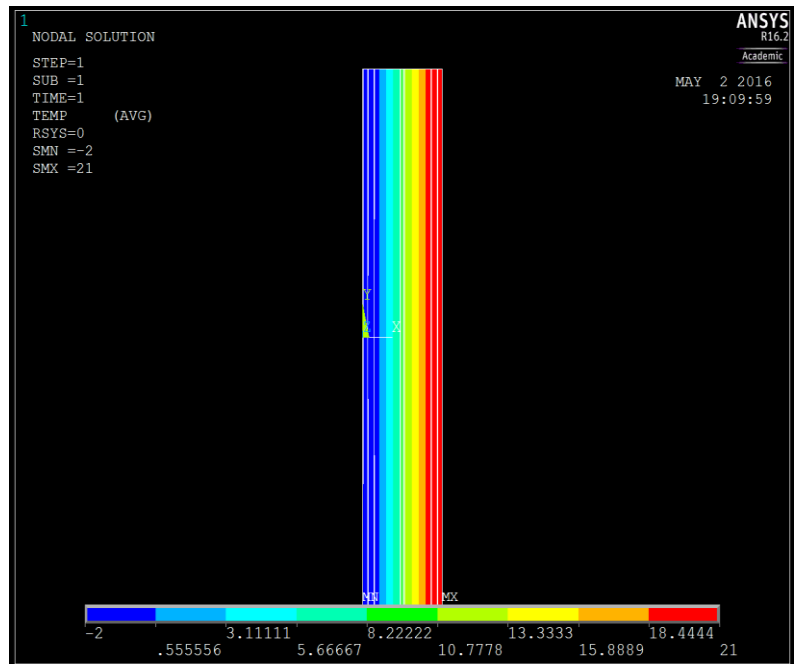
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE    TEMP
1      -2.0000
2      -1.9787
3      -1.4893
4       8.4654
5       9.4893
6      10.513
7      20.468
8      20.957
9      21.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE    9
VALUE   21.000
    
```



Figur91.Varmetransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher

**Forsøk 1 unit 1 og temperatur (10, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom vegg er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 1 og temperatur (10, +20) C°

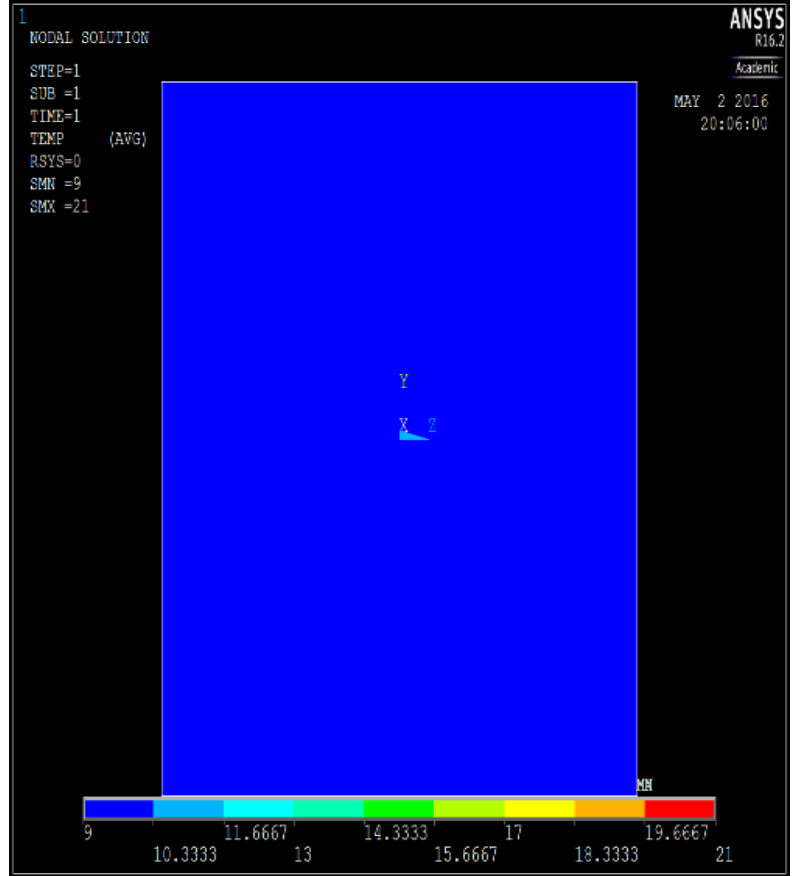
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	9.0000
2	9.0111
3	9.2665
4	14.460
5	14.994
6	15.529
7	20.722
8	20.978
9	21.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
NODE 9  
VALUE 21.000



Figur92.Varme transportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launcher

### 7.1.2 Forsøk 1 unit 2

Varmetransportssimulering gjennom vegg er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 2 og temperatur (-20, +20) C°

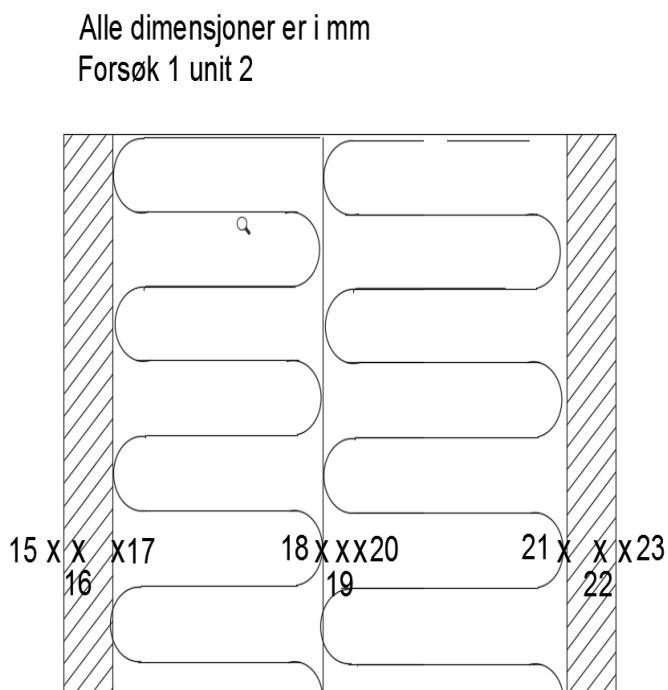
Materialer som er brukt i vegg i unit2 er som følgende

- 13 mm tykkelse på gipsplater ved varmeledningsevne som ( $\lambda = 0.17$ ).
- 56 mm tykke Glava isolasjon ved varmeledningsevne som  $\lambda = 0.036$
- Spesifikk varme av Glava isolasjon = 650 (J / kg.K)
- Densitet av Galva isolasjonen er =48 kg
- 8 mm Luft lag  $\lambda = 0.025$
- Spesifikk varme av luft = 1005 (J / Kg k)
- Densitet av luft er = 1,2 kg / m<sup>3</sup>
- 56 mm tykke samme isolasjonsmateriale

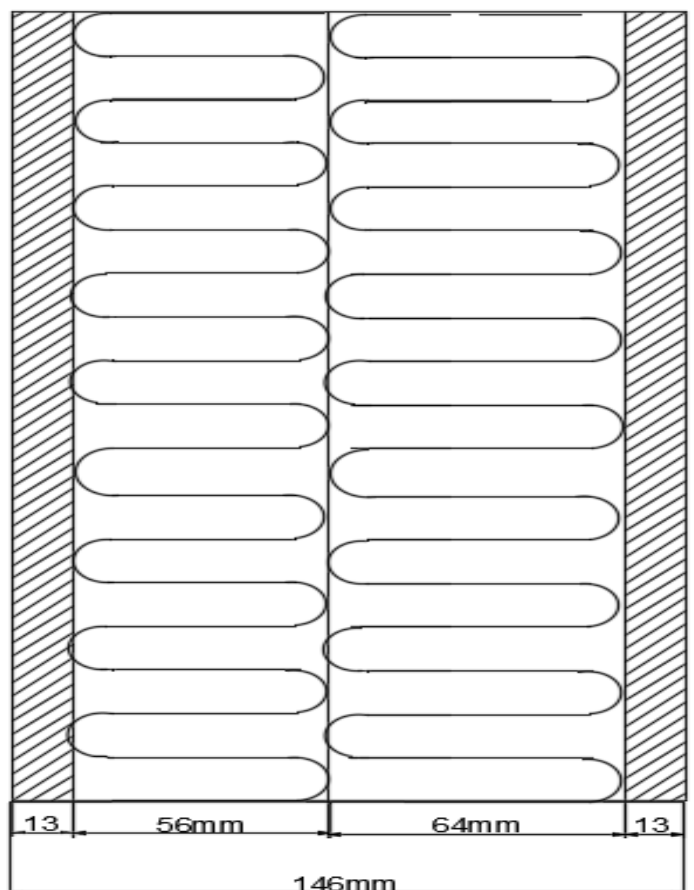
$$\lambda = 0.036$$

- 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- Spesifikkvarme av gipsplater = 1090 (J / kg. k)
- Densitet av 13mm gipsplater = 785 kg / m<sup>3</sup>

For å simulere varmeoverføring gjennomvegg trenger det tverrsnitt og her tas følgende tverrsnitt i bruk. Merking av tverrsnittet ved (15, 16, 17 ... .....23) visser nodal temperatur posisjoner.



Alle dimensjoner er i mm  
Forsøk 1 unit 2



Figur 93. Veggens tverrsnitt for unit 2



**Forsøk 1 unit 2 og temperatur (-20, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom vegg er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 2 og temperatur (-20, +20) C°.

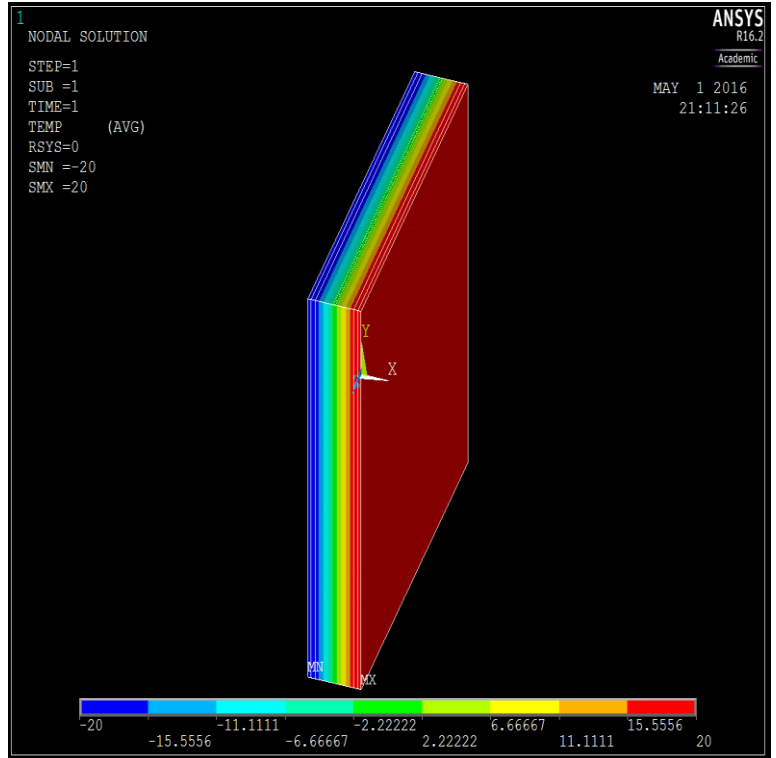
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	-20.000
2	-19.962
3	-19.087
4	-1.2903
5	-0.19068E-01
6	1.2521
7	19.049
8	19.924
9	20.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
 NODE 1  
 VALUE -20.000



Figur94., Varmetransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher)

**Forsøk 1 unit 2 og temperatur (-10, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom vegg er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 2 og temperatur (-10, +20) C°

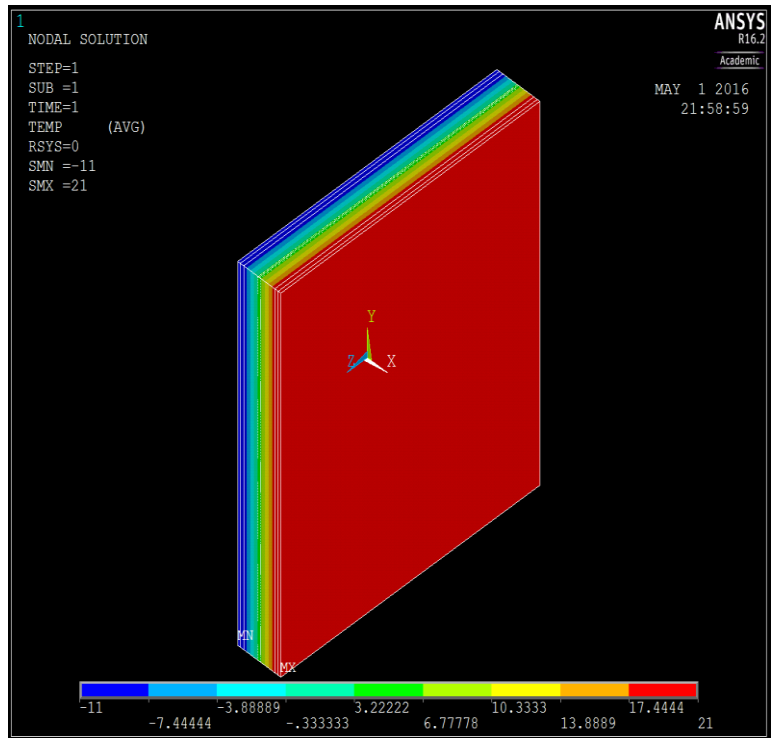
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	-11.000
2	-10.969
3	-10.270
4	3.9678
5	4.9847
6	6.0017
7	20.239
8	20.939
9	21.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
 NODE 9  
 VALUE 21.000



Figur95. Varmetransportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launch

**Forsøk 1 unit 2 og temperatur (0, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 2 og temperatur (0, +20) C°

```

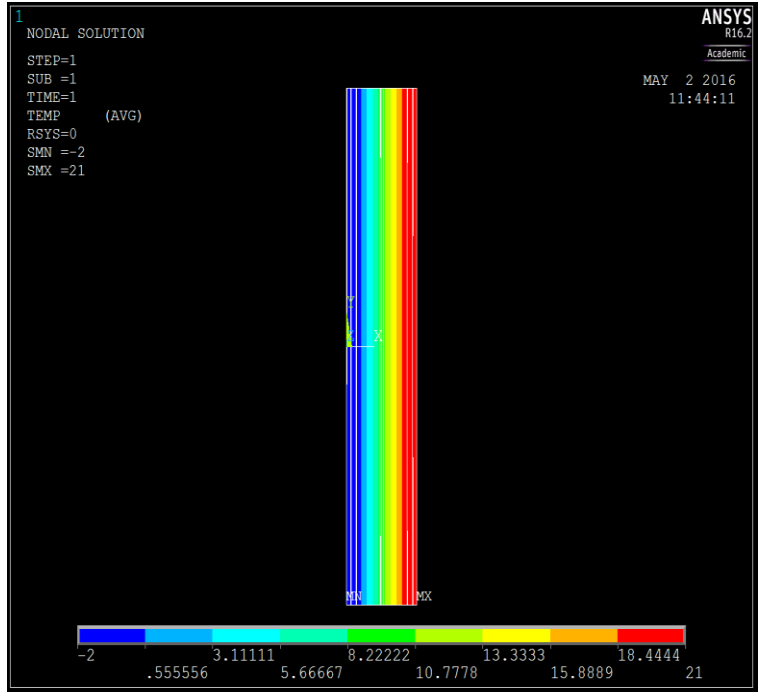
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE    TEMP
1      -2.0000
2      -1.9781
3      -1.4750
4       8.7581
5       9.4890
6      10.220
7      20.453
8      20.956
9      21.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE    9
VALUE   21.000
    
```



Figur96.Varme transportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launcher)

**Forsøk 1 unit 2 og temperatur (+10, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 2 og temperatur (+10, +20) C°

```

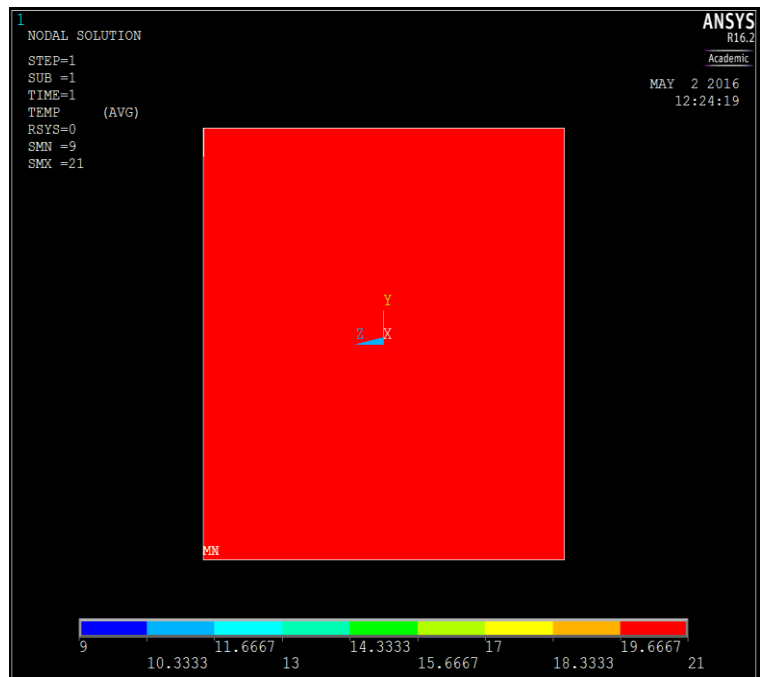
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE    TEMP
1       9.0000
2       9.0114
3       9.2739
4      14.613
5      14.994
6      15.376
7      20.715
8      20.977
9      21.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE    9
VALUE   21.000
    
```



Figur97. Varmetransportssimulering( Ansys Mechanical APDL Product Launcher)

### 7.2.1 Forsøk 2 unit 1

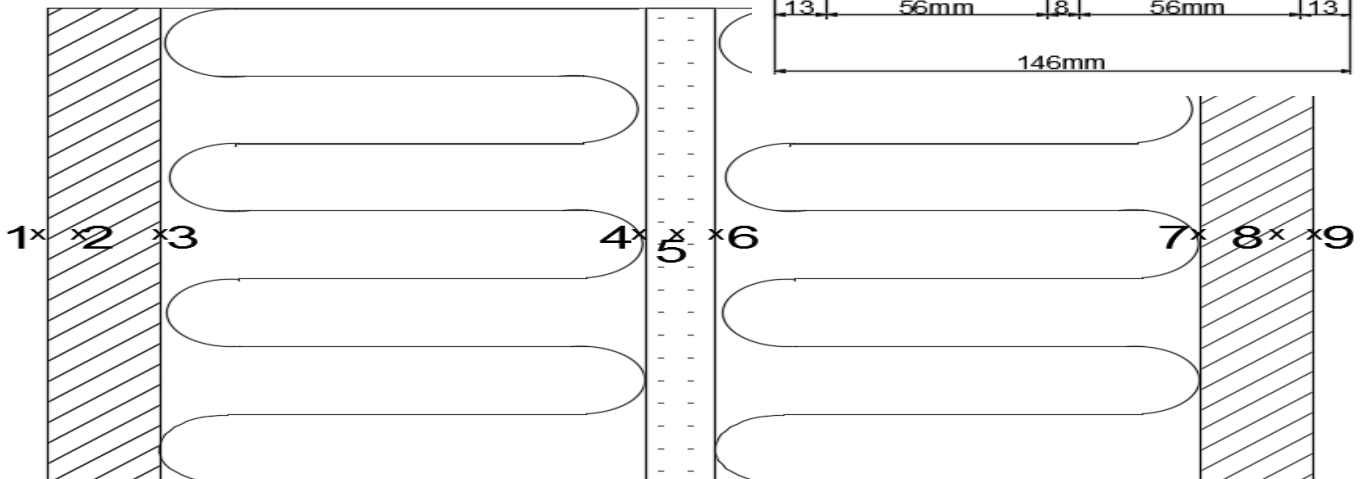
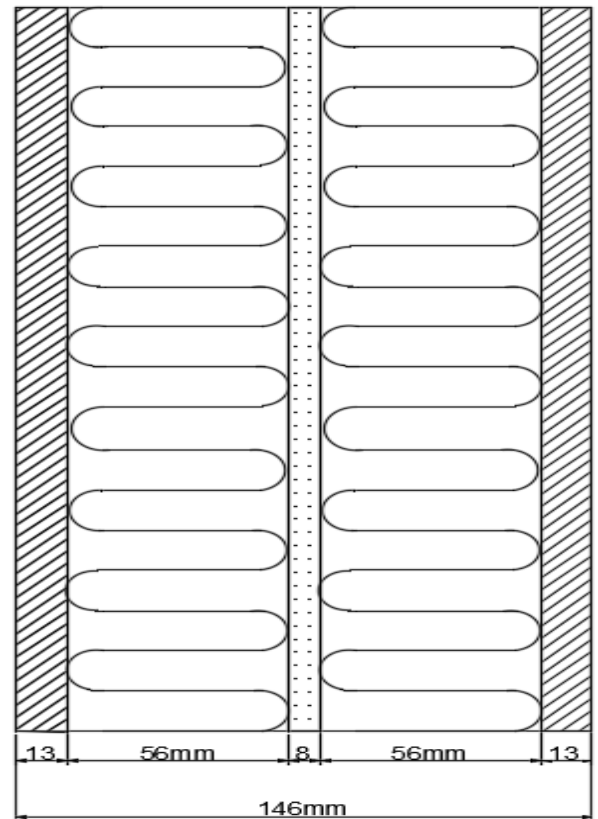
Forskjellen mellom forsøk 1 og 2 er bare forandring av isoleringsretning og resten terminologi av varmeoverføringssimulering er det samme og her følges det samme terminologien. Forsøk 2 består også av fire trinner og vil gjerne gjøre simuleringen i trinnvis som er blitt gjort i forsøk 1. Følgende tverrsnittet er blitt brukt i alle fire trinner, og derfor er det ikke nødvendig å ha det i hver side. Det vil hjelpe oss å gjøre det litt kortere.

Materialer som er brukt i veggen i unit1 er som følgende

- 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- 56 mm Glava isolasjon  $\lambda = 0.036$
- Spesifikk varme av Glava isolasjon = 650 ( J / kg.K)
- Densitet av Galva isolasjonen er 48 kg
- 8 mm Luft lag  $\lambda = 0.025$
- Spesifikk varme av luft = 1005 ( J / Kg k )
- Densitet av luft er = 1,2 kg / m<sup>3</sup>
- 56 mm tykke samme isolasjonsmateriale  $\lambda = 0.036$
- 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- Spesifikkvarme av gipsplater = 1090 ( J / kg. k )
- Densitet av 13mm gipsplater = 785 kg / m<sup>3</sup>

Alle dimensjoner er i mm

Forsøk 2 unit1



Figur 98.Veggens tverrsnitt for unit 1

**Forsøk 2 unit 1 og temperatur (-20, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 2 unit 1 og temperatur (-20, +20) C°.

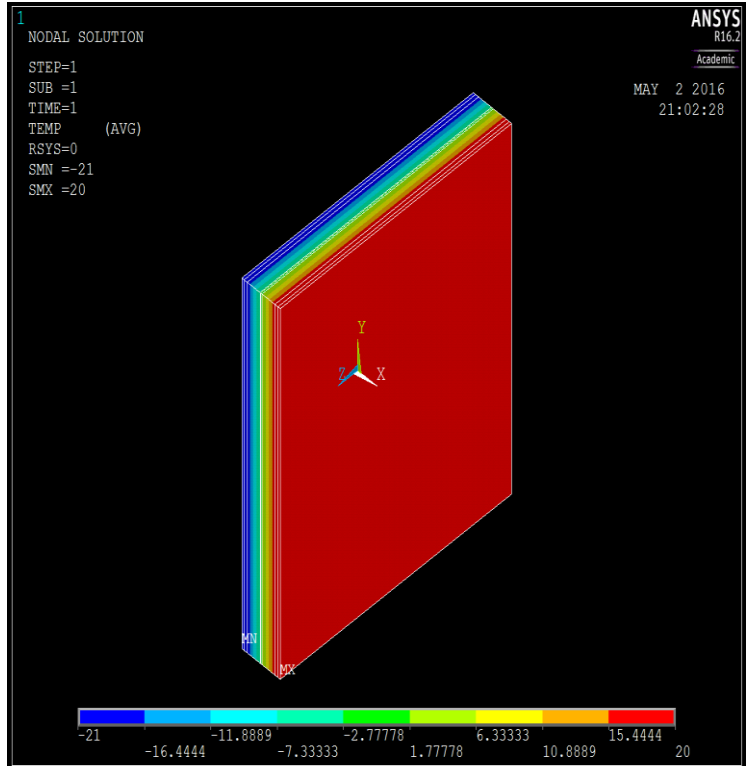
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	-21.000
2	-20.962
3	-20.090
4	-2.3443
5	-0.51901
6	1.3062
7	19.052
8	19.924
9	20.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
 NODE 1  
 VALUE -21.000



Figur99.Energitransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher

**Forsøk 2 unit 1 og temperatur (-10, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 2 unit 1 og temperatur (-10, +20) C

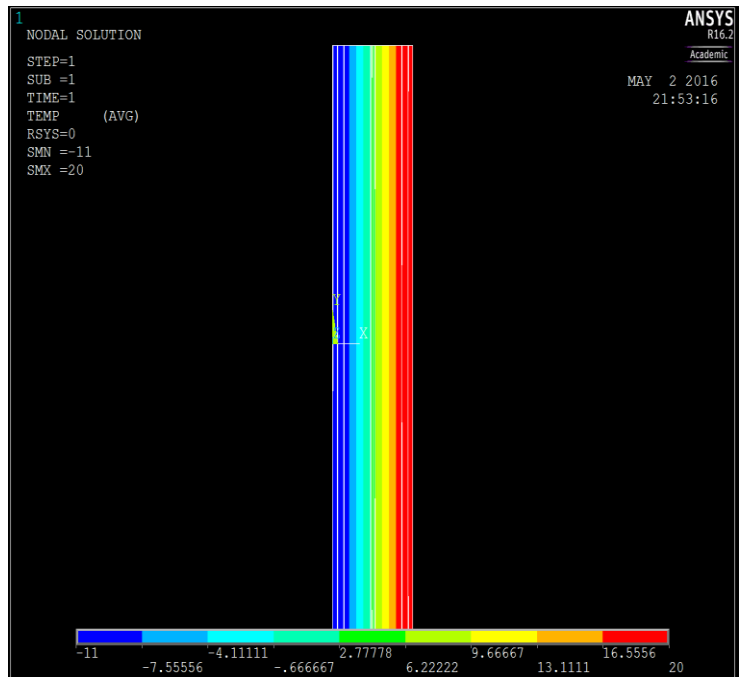
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	-11.000
2	-10.971
3	-10.312
4	3.1056
5	4.4856
6	5.8657
7	19.283
8	19.942
9	20.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
 NODE 9  
 VALUE 20.000



Figur100.Energitransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher

### Forsøk 2 unit 1 og temperatur (0, +20) C°

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 2 unit 1 og temperatur (0, +20) C°

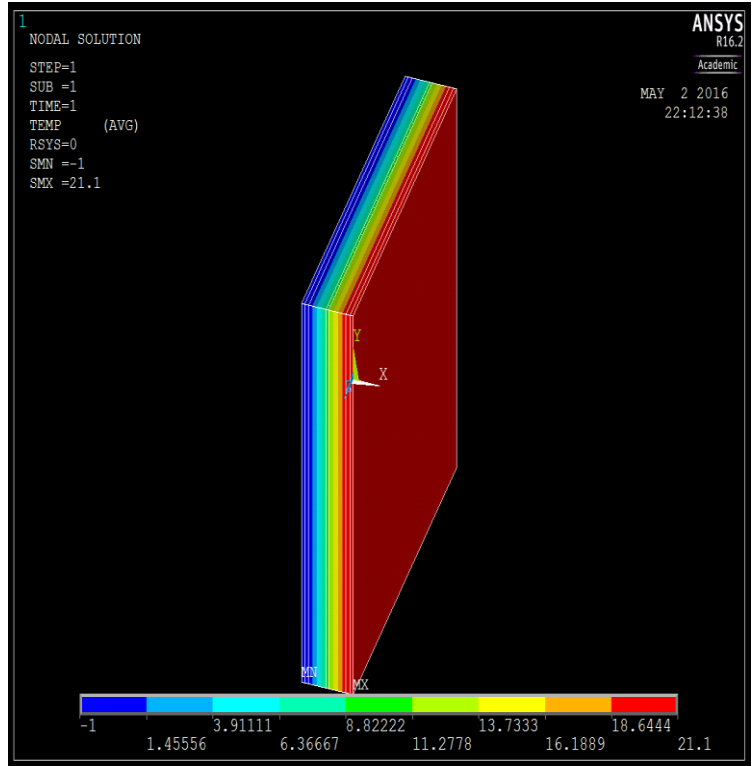
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	-1.0000
2	-0.97950
3	-0.50928
4	9.0559
5	10.040
6	11.024
7	20.589
8	21.059
9	21.100

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
NODE 9  
VALUE 21.100



### Forsøk 1 unit 2 og temperatur (+10, +20) C°

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 1 unit 2 og temperatur (+10, +20) C°

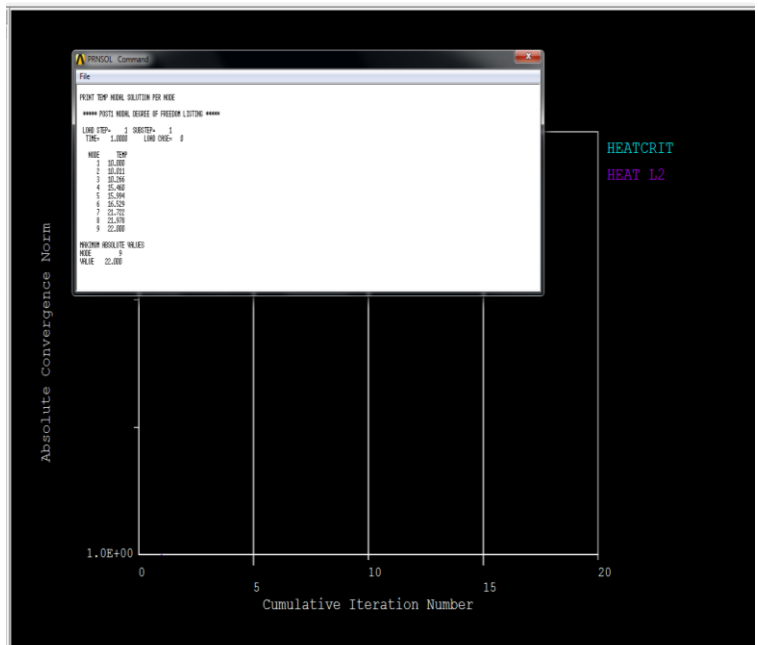
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	10.000
2	10.011
3	10.266
4	15.460
5	15.994
6	16.529
7	21.722
8	21.978
9	22.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
NODE 9  
VALUE 22.000



Figur101. Energitransportssimulering (Ansys Mechanical APDL Product Launcher)

### 7.2.2 Forsøk 2 unit 2

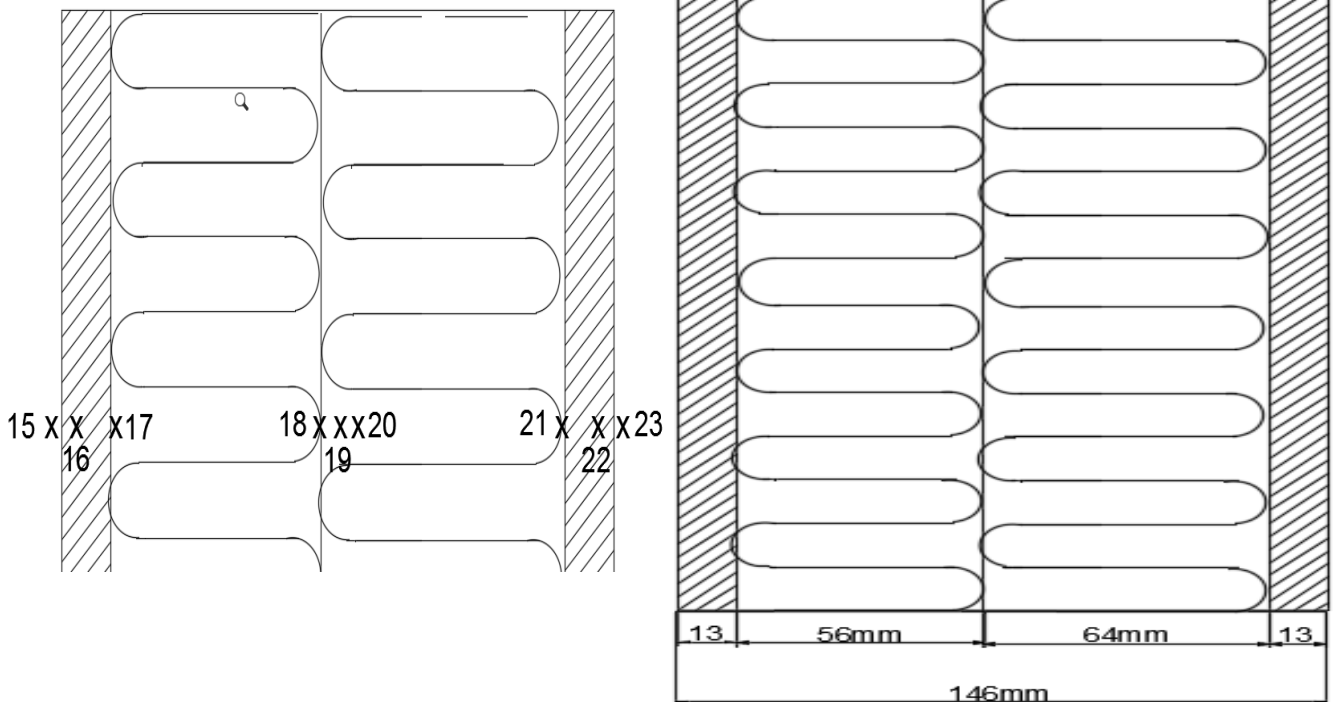
Materialer som er brukt i veggen i unit2 er som følgende

- 13 mm tykkelse på gipsplater ved varmeledningsevne som ( $\lambda = 0.17$ ).
- 56 mm tykke Glava isolasjon ved varmeledningsevne som  $\lambda = 0.036$
- Spesifikk varme av Glava isolasjon = 650 ( J / kg.K)
- Densitet av Galva isolasjonen er =48 kg
- 8 mm Luft lag  $\lambda = 0.025$
- Spesifikk varme av luft = 1005 ( J / Kg k )
- Densitet av luft er = 1,2 kg / m<sup>3</sup>
- 56 mm tykke samme isolasjonsmateriale

$$\lambda = 0.036$$

- 13 mm gipsplater  $\lambda = 0.17$
- Spesifikkvarme av gipsplater = 1090 ( J / kg. k )
- Densitet av 13mm gipsplater = 785 kg / m<sup>3</sup>

For å simulere varmeoverføring gjennomveggen trenges det tverrsnitt og her skal følgende tverrsnitt tas i bruk. Merking av tverrsnittet ved (15, 16, 17.....23 ) visser nodal temperatur.



Figur 102. Veggens tverrsnitt for unit 2

**Forsøk 2 unit 2 og temperatur (-20, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2).  
 Simulering av forsøk 2 unit 2 og temperatur (-20, +20) C°

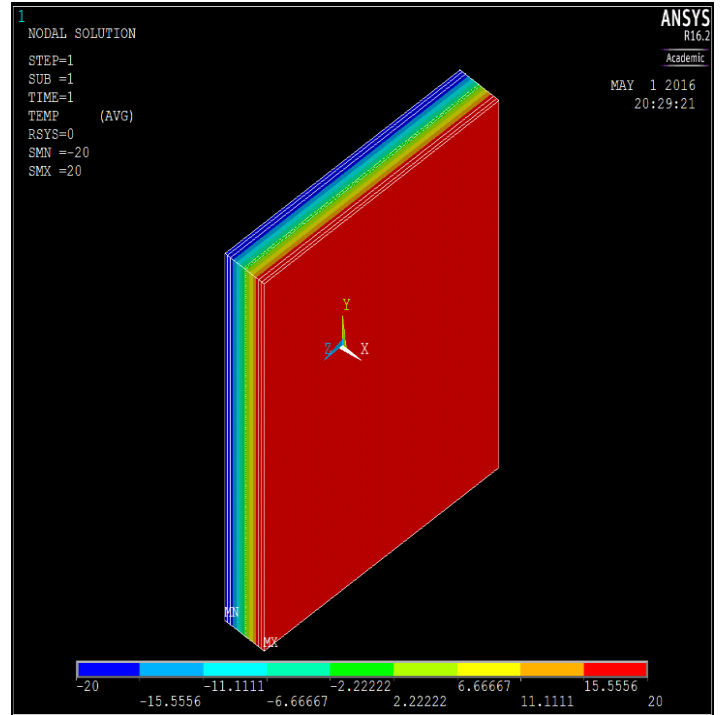
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	-20.000
2	-19.962
3	-19.087
4	-1.2903
5	-0.19068E-01
6	1.2521
7	19.049
8	19.924
9	20.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
 NODE 1  
 VALUE -20.000



**Forsøk 2 unit 2 og temperatur (-10, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2).  
 Simulering av forsøk 2 unit 2 og temperatur (-10, +20) C°

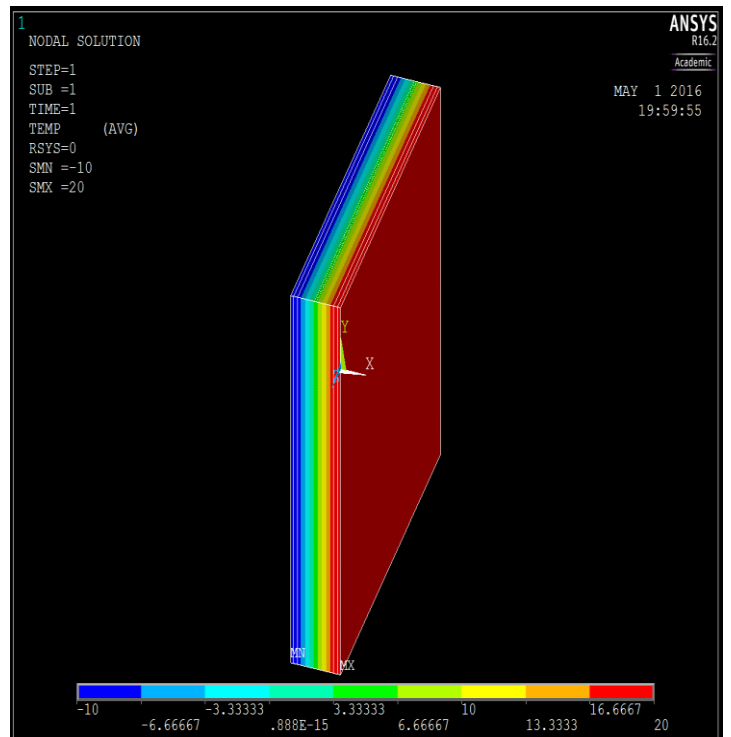
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	-10.000
2	-9.9714
3	-9.3152
4	4.0323
5	4.9857
6	5.9391
7	19.287
8	19.943
9	20.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
 NODE 9  
 VALUE 20.000



Figur103.Energitransportssimulering ( Ansys Mechanical APDL Product Launcher

**Forsøk 2 unit 2 og temperatur (0, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 2 unit 2 og temperatur (0, +20) C°.

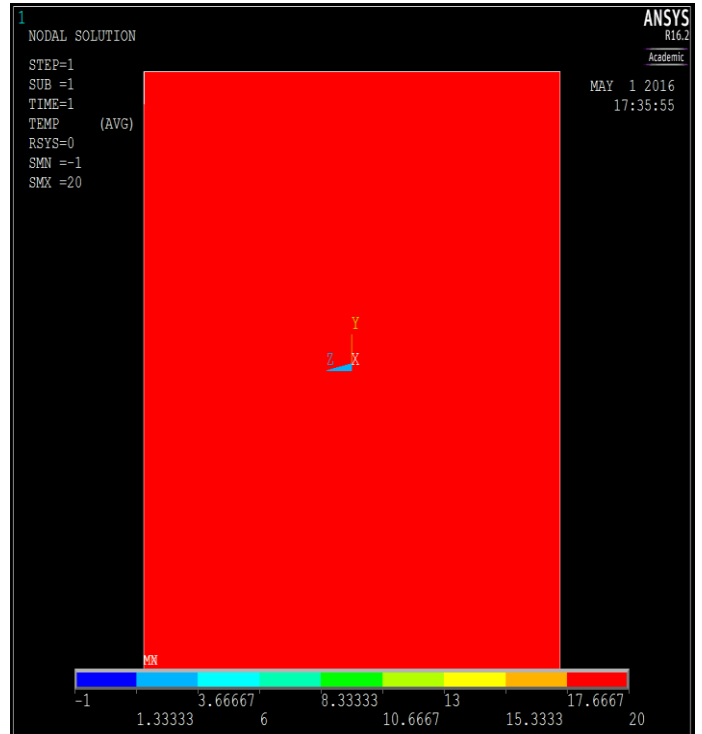
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	-1.0000
2	-0.97998
3	-0.52067
4	8.8226
5	9.4900
6	10.157
7	19.501
8	19.960
9	20.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
NODE 9  
VALUE 20.000



**Forsøk 2 unit 2 og temperatur (+10, +20) C°**

Varmetransportssimulering gjennom veggen er gjennomført ved Ansys (Mechanical APDL productLauncher 16.2). Simulering av forsøk 2 unit 2 og temperatur (+10, +20) C°.

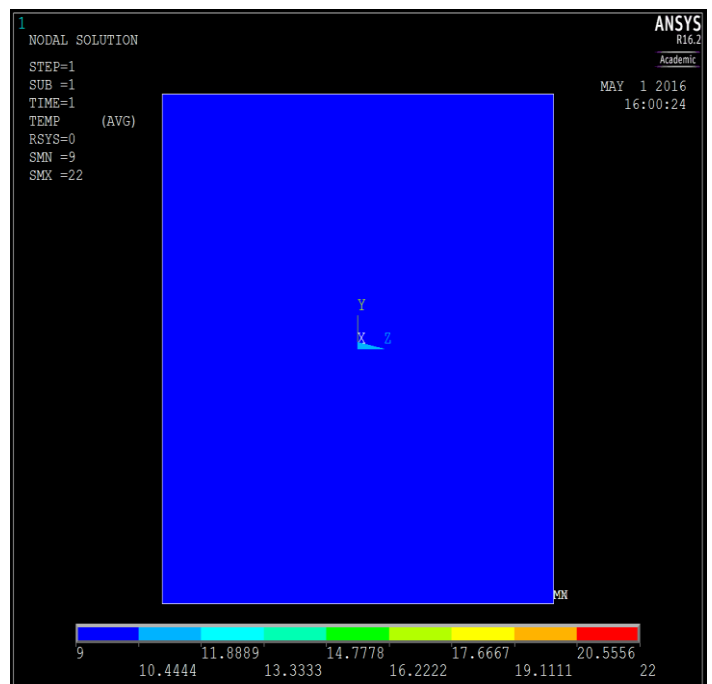
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	9.0000
2	9.0124
3	9.2973
4	15.092
5	15.506
6	15.920
7	21.715
8	22.000
9	22.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  
NODE 8  
VALUE 22.000



Figur 100. Temperaturfordelingssimulering (Ansys Mechanical APDL Product Launcher)



## 8. Kapittel 6:

### 8.1 Resultater

Dette kapittelet består av informasjon om resultater av varmetransportens gjennom veggen av både eksperimentet, beregninger og simuleringssdataer. Følgende tabeller består av nodal temperatur i hvert sjikt av veggen. Jeg ville gjerne sortere resultatene av alle trinnene i en kortform i en tabell. Det vil hjelpe oss for å se etter likheter og forskjeller mellom både eksperiment, beregning og simuleringssdata. I henhold til planen skal resultatet skrives trinnvis. Tallene fra (1 til 9) og (15 til 23) i tabellene viser nodal temperatur i hvert sjikt av veggen og tilhører til unit 1 og 2 tverrsnittets henholdsvis.

#### 8.1.1 Resultater av forsøk 1

Først trinnet ble startet ved forsøk 1, unit 1 og 2 ved temperatur (-20, +20) C°

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK1 ,UNIT1 OG TEMPERATUR (-20, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			1	2	3	4	5	6	7	8	9
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-22	-20,3	-18,7	0,9	3	4,9	18,1	19,4	20,9
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-21	-20,96	-20,09	-2,34	-0,52	1,3	19,05	19,92	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-21,13	-21,55	-20,68	-2,99	-1,17	0,65	18,34	19,21	20,69

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK1 ,UNIT2 OG TEMPERATUR (-20, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			15	16	17	18	19	20	21	22	23
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-22,8	-20,3	-18,5	1,1	2,3	7,7	18,3	20,4	21,5
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-20	-19,96	-19,08	-1,29	-0,19	1,25	19,04	19,92	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-21,87	-22,32	-21,39	-2,54	-1,2	0,15	19	19,92	21,5

Andre trinnet ble startet ved forsøk 1, unit 1 og 2 ved temperatur (-10, +20) C°

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK1 ,UNIT1 OG TEMPERATUR (-10, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			1	2	3	4	5	6	7	8	9
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-11,3	-11,5	-9,7	5,2	6,9	8,4	18,9	19,9	20,7
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-11	-10,97	-10,31	3,1	4,48	5,86	19,28	19,94	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-10,66	-10,97	-10,3	2,96	4,3	5,7	18,98	19,63	20,74

Tabell 23. Resultater av både eksperiment, beregning og simulering.

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK1 ,UNIT2 OG TEMPERATUR ( -10, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			15	16	17	18	19	20	21	22	23
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-12,8	-11	-9,4	5	5,9	10,2	19,3	20,9	21,7
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-11	-10,97	-10,27	3,97	4,98	6	20,24	20,94	21
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-12,08	-12,42	-11,7	2,98	4,03	5,07	19,75	20,47	21,7

Tredje trinnet ble startet ved forsøk 1, unit 1 og 2 ved temperatur (0, +20) C°

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK1 ,UNIT1 OG TEMPERATUR ( 0, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			15	2	3	4	5	6	7	8	9
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-2,5	-1,2	-0,9	9,5	10,7	11,8	19,6	20,2	20,9
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-2	-1,97	-1,48	8,46	9,48	10,5	20,46	20,96	21
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-2,02	-2,25	-1,77	7,95	8,95	9,95	19,68	20,16	20,97

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK1 ,UNIT2 OG TEMPERATUR ( 0, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			15	16	17	18	19	20	21	22	23
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-0,9	-1,5	-0,6	9,2	9,8	12,9	19,9	21,2	21,7
ANSYS DATA	Temperatur	c°	0	0,767	1,83	9,4	9,96	10,5	18,08	19,84	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-0,75	-0,98	-0,5	9,26	9,95	10,65	20,41	20,88	21,7

Fjerde trinnet ble startet ved forsøk 1, unit 1 og 2 ved temperatur (+10, +20) C°

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK1 ,UNIT1 OG TEMPERATUR ( +10, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			1	2	3	4	5	6	7	8	9
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	9	9,2	9,3	14,9	15,5	16,1	20,6	20,9	21,3
ANSYS DATA	Temperatur	c°	9	9,01	9,26	14,46	14,99	15,529	20,72	20,97	21
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	9,25	9,13	9,38	14,48	15	15,53	20,62	20,87	21,3

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK1 ,UNIT2 OG TEMPERATUR ( +10, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			15	16	17	18	19	20	21	22	23
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	9	8,7	8,8	14,1	14,4	16,2	20,4	20,9	21,1
ANSYS DATA	Temperatur	c°	9	9,01	9,27	14,61	14,99	15,37	20,7	20,97	21
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	9,07	8,94	9,2	14,43	14,8	15,18	20,41	20,66	21,1

Tabell 24. Resultater av både eksperiment, beregning og simulering

### 8.1.2 Resultater av forsøk 2

Først trinnet ble startet ved forsøk 2, unit 1 og 2 ved temperatur ( -20, +20) C°

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK2 ,UNIT1 OG TEMPERATUR ( -20, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			1	2	3	4	5	6	7	8	9
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-21,5	-20,9	-18,9	-0,3	1,7	3,8	19,2	20,1	21,1
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-21	-20,96	-20,09	-2,34	-0,52	1,3	19,05	19,92	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-19,53	-19,94	-19,08	-1,78	-0,01	1,77	19,07	19,92	21,37

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK2 ,UNIT2 OG TEMPERATUR ( -20, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			15	16	17	18	19	20	21	22	23
EKPRIMENT DATA	Temperatur	c°	-20,4	-20,5	-19,1	-6	-3,5	-0,7	19,1	20	20,9
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-20	-19,96	-19,08	-1,29	-0,19	1,25	19,04	19,92	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-19,54	-19,95	-19,08	-1,51	-0,26	1	18,57	19,43	20,9

Andre trinnet av forsøk 2 ble startet ved temperatur ( -10, +20) C° i kjølerom og ute henholdsvis.

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK2 ,UNIT1 OG TEMPERATUR ( -10, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			1	2	3	4	5	6	7	8	9
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-10,7	-11,2	-9,6	4,2	5,7	7,3	19,8	20,6	21,6
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-11	-10,97	-10,31	3,1	4,48	5,86	19,28	19,94	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-10,04	-10,36	-9,7	3,64	5,01	6,39	19,73	20,38	21,5

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg											
FORSØK2 ,UNIT2 OG TEMPERATUR ( -10, +20)C°											
Informasjon			SENSOR NO								
No			15	16	17	18	19	20	21	22	23
EKPRIMENT DAT	Temperatur	c°	-10,7	-11,1	-9,8	0,2	2,1	4,3	19,8	20,6	21,5
ANSYS DATA	Temperatur	c°	-10	-9,97	-9,31	4,03	4,98	5,93	19,23	19,9	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur	c°	-10,03	-10,35	-9,67	4,03	5	5,98	19,68	20,36	21,5

Tabell 25.Resultater av både eksperiment, beregning og simulering

Tredje trinnet av forsøk 2 ble startet ved temperatur i kjølerom og ute, 0 og +20 C° henholdsvis.

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg										
FORSØK2 ,UNIT1 OG TEMPERATUR ( 0, +20)C°										
Informasjon		SENSOR NO								
No		1	2	3	4	5	6	7	8	9
EKPRIMENT DAT	Temperatur c°	-2	-0,7	-0,2	9,6	10,6	11,7	20,5	21,1	21,8
ANSYS DATA	Temperatur c°	-1	-0,97	-0,5	9,05	10,04	11,02	20,58	21,05	21
BEREGNINGS DATA	Temperatur c°	-1,52	-1,75	-1,26	8,6	9,61	10,63	20,49	20,98	21,8

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg										
FORSØK2 ,UNIT2 OG TEMPERATUR ( 0, +20)C°										
Informasjon		SENSOR NO								
No		15	16	17	18	19	20	21	22	23
EKPRIMENT DAT	Temperatur c°	-1	-1,4	-0,4	6,5	7,9	9,4	20,6	21,2	21,8
ANSYS DATA	Temperatur c°	-1	-0,98	-0,52	8,82	9,49	10,15	19,5	19,96	20
BEREGNINGS DATA	Temperatur c°	-0,52	-0,75	-0,27	9,43	10,12	10,81	20,51	20,99	21,9

Fjerde trinnet av forsøk 2 ble startet ved temperatur i kjølerom og ute 10, +20 henholdsvis.

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg										
FORSØK2 ,UNIT1 OG TEMPERATUR (+1 0, +20)C°										
Informasjon		SENSOR NO								
No		1	2	3	4	5	6	7	8	9
EKPRIMENT DAT	Temperatur c°	9,9	10,2	10,2	15,5	16	16,6	21,8	22,1	22,5
ANSYS DATA	Temperatur c°	10	10,01	10,26	15,46	15,99	16,529	21,72	21,98	22
BEREGNINGS DATA	Temperatur c°	10,16	10,03	10,29	15,51	16,05	16,59	21,81	22,06	22,5

Nodal Temperatur i hvert sjikt av en kompositt vegg										
FORSØK2 ,UNIT2 OG TEMPERATUR ( +10, +20)C°										
Informasjon		SENSOR NO								
No		15	16	17	18	19	20	21	22	23
EKPRIMENT DAT	Temperatur c°	9,1	9,2	9,5	13,5	14,3	15,2	21,7	22,1	22,5
ANSYS DATA	Temperatur c°	10	10,01	10,26	15,46	16,99	16,52	21,7	21,9	22
BEREGNINGS DATA	Temperatur c°	9,38	9,25	9,53	15,23	15,64	16,04	21,74	22,02	22,5

Tabell 26.Resultater av både eksperiment, beregning og simulering

## 9. Kommentarer til resultatene

### 9.1 Plassering og retning av Isolasjon

Fra resultatet ovenfor kan det sies med sikkerhet at plassering og retning av isolerings terminologi har positiv effekt på varmeoverføringsprosessen. I kommende tabeller ønsker jeg å vise fordeler av riktig isolering av vegger. Veggen (unit 1 og 2) i forsøk 1 er blitt isolert i det samme retning, mens i forsøk 2 er isolert i motsatt retning. Temperatur forskjeller mellom unit 1 og 2 er visst som følgende.

Temperatur (-20 C°, 20 C°)

No	Sensor No	4	5	6	
1	Forsøk 1 unit 1 resultater	0,9	3	4,9	
2	Forsøk 2 unit 1 resultater	-0,3	1,7	3,8	
3	Temperaturforskjeller	1,2	1,3	1,1	Mer enn 13 % bedre resultater i forsøk2 enn i forsøk 1

Temperatur (-10 C°, 20 C°)

No	Sensor No	4	5	6	
1	Forsøk 1 unit 1 resultater	5,2	6,9	8,4	
2	Forsøk 2 unit 1 resultater	4,2	5,7	7,3	
3	Temperaturforskjeller	1,00	1,2	1,1	Mer enn 13% bedre resultater i forsøk2 enn i forsøk 1

Temperatur (0 C°, 20 C°)

No	Sensor No	4	5	6	
1	Forsøk 1 unit 1 resultater	9,5	10,7	11,8	
2	Forsøk 2 unit 1 resultater	9,6	10,6	11,7	
3	Temperaturforskjeller	-0,1	0,1	0,1	1 % bedre resultater i forsøk2 enn i forsøk 1

Temperatur (+10 C°, 20 C°)

No	Sensor No	4	5	6	
1	Forsøk 2 unit 1 resultater	15,5	16	16,6	
2	Forsøk 1 unit 1 resultater	14,9	15,5	16,1	
3	Temperaturforskjeller	0,6	0,5	0,5	4% bedre resultater i forsøk2 enn i forsøk 1

Tabell 27. Kommentarer

### 10. Effekt av stilleluftlag

I forhold til resultatet og tabeller ovenfor kan det sees forskjeller mellom unit 1 og unit 2 i tabeller nedenfor. I Tverrsnittet til Veggene ved unit 1, stilleluftlag eller stilleluftspalte er inkludert, mens i tverrsnittet til veggene ved unit 2, stilleluftlag er ekskludert.

Fra følgende tabeller kan man ved helt sikkerhet si at plassering av stilleluftlag i vegger har mye betydning for å hindre energitap i bygninger. Tabellene nedenfor gir oss en veldig god oversikt over de resultatene av veggene med stille-luftlag og veggene uten stilleluftlag.

Temperatur (-20 C°, 20 C°)

No	Sensor No	4	5	6	C°
1	Forsøk 1 unit 1 resultater	0,9	3	4,9	C°
2	Forsøk 1 unit 2 resultater	1,1	2,3	7,7	C°
3	Temperaturforskjeller	- 0,2	0,7	-5,5	Veggen som har stilleluftlag som isolasjon er nesten 5,5 C° bedre i resultater. Så veggene betinges som best isolert vegg

Temperatur (-10 C°, 20 C°)

No	Sensor No	4	5	6	C°
1	Forsøk 1 unit 1 resultater	5,2	6,9	8,4	C°
2	Forsøk 1 unit 2 resultater	5	5,9	10,2	C°
3	Temperaturforskjeller	0,2	1,00	-1,8	Veggen som har stilleluftlag som isolasjon er nesten 1 C° bedre i resultater. Så veggene betinges som best isolert vegg

Temperatur (0 C°, 20 C°)

No	Sensor No	4	5	6	C°
1	Forsøk 1 unit 1 resultater	9,5	10,7	11,8	C°
2	Forsøk 1 unit 2 resultater	9,2	9,8	12,9	C°
3	Temperaturforskjeller	0,3	0,9	-1,1	Veggen som har stilleluftlag som isolasjon er nesten 1 C° bedre i resultater. Så veggene betinges som best isolert vegg

Tabell 28. kommentarer

Temperatur (0 C°, 20 C°)

No	Sensor No	4	5	6	C°
1	Forsøk 1 unit 1 resultater	14,9	15,5	16,1	C°
2	Forsøk 1 unit 2 resultater	14,1	14,4	16,2	C°
3	Temperaturforskjeller	0,8	1,1	-0,1	Veggen som har stilleluftlag som isolasjon er nesten 1 C° bedre i resultater. Så veggen betinges som best isolert vegg

Tabell 29. Kommentarer

## Konklusjon

Hensikten med rapporten har vært å vise hvilke optimaliseringsmuligheter som kan finnes i dag og som har noe betydning for energibruk når det gjelder varmetransports i konstruksjoner og bygninger. Fokuset har blant annet vært rettet mot vurderinger rundt effekt av isolasjons materialer i vegger. Denne type forskning og forsøk har blitt gjort i mindre og større grader i det siste også, men jobben min med dette prosjektet ble hovedsakelig knyttet til å finne en ny terminologi som skal hjelpe oss å erstatte de tykkere og dyrere standardveggkonstruksjoner med tynnere og billigere standardveggkonstruksjoner. For å finne en bedre, aktuelle og moderne løsning ble det bestemt å bruke tre metoder.

- a. eksperiment
- b. Teori
- c. Simulering

I den første eksperimentelleden, ble veggen (begge unit 1 og unit 2) utsatt til varmeoverførings prosessen samtidig for å se effektiviteten av isolasjonsmaterialer i kombinert form og enkelte former. I dette eksperimentet fikk vi nesten like resultater fra begge deler av veggen. Resultatene fra eksperimentet beviser at, stilleluft-lag kan ha mye betydning i isolering av standardveggkonstruksjonen. Hvis vi ser på resultater fra begge forsøkene finnes det mye likheter på varmeoverføringsfordeler i unit1 og unit 2. Resultatene som er en sammendrag av åtte forsøk som er blitt gjennomført i to eksperimenter gir oss en bevis/ dokument som man kan ståle på. Resultater av eksperimentet er vist i vedlegger og sammenlignet i tabeller i hovedrapporten i dette kapittelet.

Numerisk beregningene har blitt gjennomført i henhold til teori delen, som viser cirka like resultater av eksperimentelle delen. Trinnvis numeriske resultater forklarer og beviser at varmetransportsfordeling i utsatte veggene har skjedd i like grader som i eksperimentet. Resultatene av numerisk beregninger er vist i kapittel 4.

For å gjøre det mer sikrere og ekte, bestemte jeg å gjennomføre Ansys varmetransportssimulering til hver trinnet som er gjort både i eksperimentet og i numerisk-beregninger. Sann simuleringstype av analyse kan gi mye bedre og nøyaktige resultater enn vanlige matematiske metodene på grunn av at i simulasjons modellens alle prosessene kjøres og drives samtidig. Simulasjonsmodellering kan brukes eller gir oss muligheter for å få bedre oversikt av varmeoverføringsfordelings prosessen og for forutsetninger av mulige forandringer av isoleringsprosessen samt standardveggkonstruksjons terminologi.

Jeg har laget 8 forskjellige simuleringer av energioverføringsprosessen som er blitt gjort i den eksperimentelle delen samt i den numeriske delen. Resultatene av simulering ble vist i kort form i kapittel 5.

Resultater av både eksperimenter, numeriske beregninger og simulering er i en likheter på (95 – 99) % i unit 1 og (92 % - 95%) i unit 2. Likheter av resultater gir oss bevis og tanker at standard veggkonstruksjonen med kombinert form av isolering (stille-luft-lag innimellom isolasjon) er den best formen av isolering.

Isolasjonsplassering og retning har en del positiv effekt på varmetransportsprosessen i bygninger. Når vi isolerer en yttervegg eller andre deler av et hus eller bygninger, da legger vi to parallelle isolasjonsplater vedsiden av hverandre og som resultat blir det noe luftlekkasjer innimellom de to plater. For å kunne dekke lekkasjet bør man isolere eller plassere isolasjonsplater i den andre laget, i motsatt retning. Saken er vist og beskrevet trinnvis i den tredje delen av rapporten. Noen bilder er hentet fra eksperimentet for forsterkning av dokumentasjonen. Den andre delen av Eksperimentet (forsøk 2) er spesifisert /angitt for dette formålet. Fra tabellene ovenfor kan vi ved helt sikkerhet si at plassering og retning av isolerings terminologi har positiv effekt på varmeoverføringsprosessen. Isoleringsprosessen og terminologiene er forklart og vist i kapittel 3 i den eksperimentelle delen av rapporten.



I henhold til resultater i tabellene ovenfor kan man se på forskjeller mellom unit 1 og unit2. Tabellene ovenfor gir oss en veldig god oversikt over resultater av veggen med stille-luftlag og veggen uten stilleluftlag. I tverrsnittet til Veggen ved unit 1, stilleluftlag eller stilleluftspalte er inkludert, mens i tverrsnittet til veggen ved unit 2, stilleluftlag er ekskludert. Dessuten, I forbindelse med resultatene i tabeller oppover kan man ved helt sikkerhet si at plassering av stilleluftlag i vegger har mye betydning for å hindre energitap i bygninger. Isoleringens terminologi og prosesser er forklart og vist i kapittel 3 i den eksperimentelle delen av rapporten

På slutten av jobben med hovedoppgaven min fikk jeg vite at stilleluftlag har mye betydning eller har mye effekt på å spare energi når det gjelder varmetransport i bygninger samt stilleluftlag gir oss muligheter og anledninger til å erstatte de tykkere og dyrere yttervegger med de tynnere og billigere yttervegger.

## 11. Diskusjon

Som regel, del 1 av rapporten er en introduksjon til prosjektet og derfor handler om litteratur gjennomgang som har et mål om å gi en bedre oversikt over problemstillingen og kunnskaper som kan brukes i videre arbeid med prosjektet. Jeg har beskrevet ideen til varmetransport i bygninger, litt om energitransportsprosesser og mekanismer eller former (konveksjon, konduksjon eller varmeledning og stråling), u-verdi metoder samt standard veggkonstruksjons prosedyre og terminologi i bygninger. Varme isolerings terminologien er forklart på en veldig kort måte i denne seksjonen. I henhold til hovedoppgavens problemløsningsprosedyren, har jeg valgt kapittel 2 for å ha grundig informasjon om miljøvennlige konstruksjonsmaterialer. I dette kapitlet ble det beskrevet miljøvennlige tre baserte materialer som generelt kan brukes i alle typer av vegger (yttervegger og skillevegger). Dessuten, den mest brukte og vanlige miljøvennlige isolasjonsmaterialer er en annen del av dette kapitlet som er blitt beskrevet i kortform. Det ble hentet noen bilder av de aktuelle isolasjonsmaterialer for å visualisere og illustrere det. Bilder av aktuelle materialer som er brukt i prosjektet vil gjerne gjøre det attraktivt og interessant for lesere.

Den tredje delen av rapporten er spesifisert til den eksperimentelle delen. I dette kapitlet (Kapittel 3) er hele eksperimentets gjennomføring beskrevet trinnvis for å gjøre det enkelt og mer forståelig. Hensikten med oppdeling av veggen i to like store deler var å gjennomføre varmetransportsfordeling samtidig for modul 1 og 2 (unit 1 og 2). Dette har hjulpet oss å finne ut om hvilken vegg er best for å spare energi når det gjelder energitransport. Resultater og grafer av eksperimentet er lagt ved i vedlegger. Det var en stor utfordring å lage et stilleluftlag i veggen manuelt. For å lage skikkelig og sofistikert stilleluftlag bør man ha slike stilleluftlommer. Se Figur (46). Dette stilleluftlommene er laget av metal, men det som skal brukes i veggkonstruksjonen må være laget av materialer med lavest varmeledningsevne i hvertfall. Stilleluftlag som er blitt brukt i eksperimentet var et alternativ til det aktuelle formatet. Stilleluftlommene som blir laget industrielt eller fabrikkert vil ha mer effektivitet og vil hente / bringe saken til virkeligheten. Byggere og hus konstruksjons selskaper som bruker stilleluftlag i yttervegger bruker massevis av dukker og andre materialer samt arbeidskraft. Derfor anbefaler jeg at stilleluftlommene vil bringe forandring i mindre og store grader i veggkonstruksjonen. I den fjerde delen av rapporten har jeg gjort den numeriske beregningen av prosjektet. Utførelse av prosjektsberegning er gjennomført ved hjelp av Excel ark på grunn av sin nøyaktighet og for å spare tid og redusere rapportens side tallet. Bruk Excel-ark har hjulpet meg til å minimere rapporten fra flere sider til et par side til hver trinnet i kalkulasjonsdelen. Den femte seksjonen av rapporten består av varmetransportssimulering som er gjennomført ved hjelp av AnsysMechanical APDL Product Launcher 16.2.

I den sjette og siste delen av rapporten ønsket jeg å vise resultater av både eksperiment, numerisk beregninger og simuleringer. Jeg har arrangert resultater av alle trinnene i noen tabeller i trinnvis for å gjøre det enkelt og mer oversiktlig. Tallene (1, 2, 3,4,5,6,7,8 og 9) og (15,16,17,18,19,20,21,22 og 23) visersensorenes noog Nodal temperatur i unit 1 og 2 er skrevet henholdsvis både for eksperiment, Ansys simulering og numerisk beregning.

## **12. Forslag og anbefaling**

Her ønsker jeg å dele mine erfaringer og utfordringer som jeg hadde i løpet av dette prosjektet, med de som vil gjerne eller er interesserte på å gjennomføre et slikt prosjekt. For å ha en god oversikt over teorien i forbindelse med varmetransporten finnes det veldig mange gode og interessante bøker på biblioteket ved UiT. Se på litteraturliste i dette hefte. Den første og store utfordringen som jeg ble møtt med, var plassering og oppbygging av stilleluftlaget. Det tok veldig mye tid og hadde mye behov for arbeidets kraft vedsiden. For å lage stilleluftlommer må man lage det på en ordentlig måte. Figurene (46 ) viser en eventuelt riktig design for dette. Dessuten, Prøv å ikke ta i bruk glassull som isolasjonsmaterialer fordi det er ubehagelig å jobbe med dette materialet. Hvis man velger å bruke dette materialet som isolasjonsmaterial må man sørge for å skaffe seg verneutstyr som pustemaske, hansker og engangs over dress/vernefrakk i tillegg.

Stilleluftlommene kan lages som et isolasjons lag i forskjellige formater for å gjøre det lettere og mer aktuelt og brukbar. Stilleluftlommene kan dekkes ved dampsperre eller noen tynne sjikt som papir sider og materialer med lavest varmeledningsevne. Det vil gjøre det mer aktuelt og gjeldende.

## Litteraturliste

1. Rolf Andre Bohne, Arne Aalberg, Høsten 2011 **TBA4122-Bygningsmaterialer**  
Kompendium I TBA4122, Trondheim, NTNU august 2011
2. Bjørn Normann Sandaker, Malvin Sandvik. **Material kunnskap**
3. **Bygning – og Konstruksjonsmaterialer**(NTNU Høsten 2011)
4. Knut Ivar Edvardsen og Trond Ø.Ramstad 2014. (Sintef akademisk forslag 2014)  
*TREHUS* (HÅNDBOK SINTEF BYGGFORSK 5), 2014
5. Çengel, Y.A. & Ghajar, A.J., 2011, Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, New York, McGraw-Hill Education  
ISBN 978-1-259-25377-5 or MHID 1-259-25377-5
6. Robert W. Serth, 2007, Process Heat Transfer (principles and Applications), Department of Chemical and natural Gas Engineering.  
Texas A & M University-Kingsville.  
Kingsville, Texas, USA  
ISBN: 978-0-12-373588-1
7. Frank P. Incropera & David P. De Witt, 2002, *Introduction to Heat Transfer*, New York  
ISBN 0-471-38649-9
8. Bengt Sunden, 2012, *Introduction to heat transfer*, Lund University Sweden.  
Great Britain (UK) Lightning Source-Trykk.
9. Frank P. Incropera, David P. Dewitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine 2007. Fundamentals of heat and mass transfer Sixth edition, United States of America.  
ISBN -13: \*978-0-471-45728-2
10. Thue, J.V., 2014, Bygningsfysikk – grunnlag, Trondheim, NTNU-trykk.
11. Knut Jonas Espedal, 2002. Bygningsfysikk, Byggenæringens Forlag AS 2002.
12. SINTEF Byggforsk, 2016, 571.050 OSB-plater. Typer og egenskaper, Publisert Mars 2016,  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=2764> (20.04.2016).
13. Varis Bokalders, arkitekt Stockholm, Oversatt og tilrettelagt til norsk av Bjørn Berge, arkitekt Gaia Lista  
Ajournført av Bygg å BEVAR, 2011, Isolasjonsmaterialer A – Å, Oppdatert 15.04.2016,  
<http://www.byggogbevar.no/miljoe-og-enoek/artikler-miljoe-og-enoek/isolasjonsmaterialer-a-aa.aspx>  
(25.04.2016)

14. Simetric. co.uk, 2016, density of materials, Oppdatert 24. 02. 2016,  
[http://www.simetric.co.uk/si\\_materials.htm](http://www.simetric.co.uk/si_materials.htm) (01.05.2016)
15. The Engineering ToolBox, Solids-Specific Heats,  
[http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-solids-d\\_154.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-solids-d_154.html) (01.05.2016)
16. The Engineering ToolBox, Thermal conductivity for common materials,  
[http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html) (01.05.2016)
17. <http://cookwilkie11.wikis.birmingham.k12.mi.us/Conduction,+Convection,+Radiation> ( a)
18. [https://www.google.no/search?q=convection,+radiation+...&biw=1920&bih=1099&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjezYHlrb\\_NAhWGIpoKHazQDR0QsAQIjw](https://www.google.no/search?q=convection,+radiation+...&biw=1920&bih=1099&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjezYHlrb_NAhWGIpoKHazQDR0QsAQIjw) (b)
19. [https://www.google.no/search?q=konveksjons+bilder&espv=2&biw=1920&bih=1099&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjNkZm7r7\\_NAhViG5oKHUY8CTIQsAQIjg](https://www.google.no/search?q=konveksjons+bilder&espv=2&biw=1920&bih=1099&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjNkZm7r7_NAhViG5oKHUY8CTIQsAQIjg) (c)
20. SINTEF Byggforsk,2004, 723.511 Etterisolering av yttervegger av tre,Publisert: Vår 2004,  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=723511> (04.05.2016)
21. SINTEF Byggforsk, 2007, 523.255 Bindingsverk av tre. Varmmeisolering og tetting, Publisert høst 2007,  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=523255> (07.05.2016)
22. SINTEF Byggforsk, 2016, 571.047 Gipsplater.typer og egenskaper, Publisert mars 2016,  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=571047> (01.05.2016)
23. SINTEF Byggforsk, 2004, 573.344 Varmeisolasjonsmaterialer, Publisert høst 2004,  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=604> (10.02.2016)
24. SINTEF Byggforsk, 1998, Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946, Publisert vår 1998  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=471008> (15.02.2016)
25. SINTEF Byggforsk, 2016, 571.046 Sponplater. Typer og egenskaper, Publisert 2016,  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=3047> (20.04.2016)
26. SINTEF Byggforsk, 2012, 543.204 Montering av gips-, spon og trefiberplater på vegger og himlinger, Publisert 2012,  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=489>( 25.04.2016)
27. SINTEF Byggforsk, 2016, 571.050 OSB-plater, typer og egenskaper, publisert 2016,  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=2764> (30.04.2016)
28. Victoria Kosheleva, 2008, Vetilasjonsparametere og luftlekkasjer som påvirker bygningens energibruk, HiN
29. Norsk Polarinstitutt, 2016,  
<http://www.npolar.no/no/tema/klimate> ( 29.06.2016)
30. NUPI Skole, 2016,  
<http://www.nupi.no/Skole/HHD-Artikler/2010/Naturkatastrofer-Hvordan-kan-vi-verge-oss> (29.06.2016)
31. <http://www.byggern.no/produkter/trelast/isolasjon/>
32. <http://www.mindvalyou.com/6ILRP31/>

**Vedlegg**

Vedlegg 1 – Hovedoppgave tekst

Vedlegg 2 – Oppgave tekst Kapittel 3 ( resultater av Eksperiment)

Vedlegg 3 – Oppgave tekst kapittel 4 ( resultat av numerisk beregninger )