

## Tiltak på fasader

Etterisolering av yttervegger

**Olav Aga**

Bygg- og miljøteknikk (2 årig)

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Arvid Dalehaug, BAT

Medveileder: Anders-Johan Almås, Multiconsult

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





Oppgavens tittel: Tiltak på fasader - Etterisolering av yttervegger	Dato: 07.06.2013		
	Antall sider (inkl. bilag): 61		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Olav Aga			
Faglærer/veileder: Arvid Dalehaug			

#### Ekstrakt:

Dagens samfunn har et sterkt fokus på miljø, klima og energibruk. Dette gjenspeiles både i folks generelle holdninger og krav fra offentlige myndigheter. Energibruk i bygninger spiller en sentral rolle her, da byggenæringen antas å stå for ca. 40 % av all energi- og ressursbruk. Strengere byggeregler har imidlertid hovedfokus på nybygg. Skal den totale energibruken i bygninger reduseres drastisk er det nødvendig å gjøre noe med den store mengden eksisterende bygninger med stort energiforbruk.

Etterisolering av bygningskroppen er blant de mest effektive tiltakene målt i innsparing pr tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Det skilles grovt sett mellom to typer etterisolering, innvendig og utvendig. Et nytt varmeisolerende sjikt tilføres den eksisterende bygningskroppen, med ny utvendig klimaskjerm eller innvendig kledning. Metode for etterisolering fordeles stort sett mellom utforing isolert med mineralull og EPS-isolasjon eller tilsvarende med fiberpuss. I oppgaven er det vurdert etterisoleringstiltak for fem forskjellige veggtyper – teglsteinsvegg, bindingsverksvegg, tømmervegg, betongvegg under terreng og sandwichelement. For hver veggtype er det vurdert innvendig etterisolering, utvendig etterisolering, tiltak for å tilfredsstille TEK10 og tiltak for å tilfredsstille passivhusstandarden, NS 3700. Kravene til U-verdi er henholdsvis 0,18 W/m<sup>2</sup>K og 0,15 W/m<sup>2</sup>K. I tillegg til veggens U-verdi er kuldebroverdi for tilstøtende etasjeskiller vurdert.

Beregningsprogrammet Therm 6 er brukt for å bestemme U-verdier og kuldebroverdier. Programmet beregner 2-dimensjonal varmestrøm gjennom bygningskomponenter ved å simulere materialsjikt med tilhørende varmekonduktivitet, og innvendig og utvendig klima. Veggens U-verdi hentes direkte fra programmet, mens kuldebroverdier beregnes fra konstruksjonens totale varmetap fratrukket varmetapet gjennom de tilstøtende bygningsdeler. For kuldebro under terreng bestemmes kuldebroverdien ved først å finne varmetapet til komplett konstruksjon. Deretter settes varmekonduktiviteten til materialene i kuldebroen lik null, og varmetapet beregnes på nytt. Differansen mellom de to varmetapene er kuldebroverdien.

Veggtype	Tiltak TEK10	U-verdi TEK10	Tiltak passivhus	U-verdi passivhus
Teglstein	100 mm EPS + 100 mm min. ull	0,179 W/m <sup>2</sup> K	150 mm EPS + 100 mm min.ull	0,140 W/m <sup>2</sup> K
Bindingsverk	100 mm min.ull + 70 mm min. ull	0,177 W/m <sup>2</sup> K	150 mm min.ull + 100 mm min. ull	0,150 W/m <sup>2</sup> K
Tømmervegg	100 mm min ull + 150 mm min. ull	0,170 W/m <sup>2</sup> K	100 mm min ull + 200 mm min. ull	0,146 W/m <sup>2</sup> K
Sandwichelement	70 mm EPS utvendig	0,175 W/m <sup>2</sup> K	70 mm EPS + 50 mm EPS	0,140 W/m <sup>2</sup> K

Etterisoleringsens innvirkning på kuldebroen avhenger av forholdet mellom de tilstøtende bygningsdelenes varmekonduktivitet. Dersom etasjeskilleren har lav varmekonduktivitet sammenlignet med eksisterende vegg vil utvendig etterisolering kun gi marginalt bedre kuldebro enn ved innvendig etterisolering. I praksis vil det ikke oppstå en typisk kuldebro når sjiktet med lavest varmekonduktivitet blir isolert på utsiden av de varmeisolerende sjiktene. Eksempel på dette er opprinnelig uisolert teglsteinsvegg med etasjeskiller av isolert trebjelkelag. Motsatt vil være for etasjeskiller av betong og bindingsverksvegger av tre. Her vil etasjeskilleren helt eller delvis gå

gjennom sjiktet med varmeisolasjon og føre til økt varmetap. Utvendig etterisolering vil i dette tilfelle gi en betydelig bedre kuldebro enn innvendig etterisolering da det varmeledende materiale brytes. Ved innvendig etterisolering blir ikke etasjeskilleren skilt fra omgivelsene utvendig, og kuldebroverdien vil faktisk stige noe.

Stikkord:

- |                   |
|-------------------|
| 1. Etterisolering |
| 2. Kuldebro       |
| 3. Bygningsfysikk |
| 4. Therm 6        |

---

(sign.)

## Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2013 ved Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU.

Oppgaven tar for seg ulike etterisoleringstiltak på fem forskjellige fasadetyper og vurderer disse opp mot hverandre.

Jeg vil takke Arvid Dalehaug fra NTNU som har vært hovedveileder ved instituttet, Anders-Johan Almås fra Multiconsult AS som har vært ekstern veileder og initiativtaker til oppgaven..

Trondheim, 07.06.2013

---

Olav Aga

## Sammendrag

Dagens samfunn har et sterkt fokus på miljø, klima og energibruk. Dette gjenspeiles både i folks generelle holdninger og krav fra offentlige myndigheter. Energibruk i bygninger spiller en sentral rolle her, da byggenæringen antas å stå for ca. 40 % av all energi- og ressursbruk. Strengere byggeregler har imidlertid hovedfokus på nybygg. Skal den totale energibruken i bygninger reduseres drastisk er det nødvendig å gjøre noe med den store mengden eksisterende bygninger med stort energiforbruk.

Etterisolering av bygningskroppen er blant de mest effektive tiltakene målt i innsparing pr tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Det skilles grovt sett mellom to typer etterisolering, innvendig og utvendig. Et nytt varmeisolerende sjikt tilføres den eksisterende bygningskroppen, med ny utvendig klimaskjerm eller innvendig kledning. Metode for etterisolering fordeles stort sett mellom utforing isolert med mineralull og EPS-isolasjon eller tilsvarende med fiberpuss. I oppgaven er det vurdert etterisoleringstiltak for fem forskjellige veggtyper – teglsteinsvegg, bindingsverksvegg, tømmervegg, betongvegg under terreng og sandwichelement. For hver veggtype er det vurdert innvendig etterisolering, utvendig etterisolering, tiltak for å tilfredsstille TEK10 og tiltak for å tilfredsstille passivhusstandarden, NS 3700. Kravene til U-verdi er henholdsvis 0,18 W/m<sup>2</sup>K og 0,15 W/m<sup>2</sup>K. I tillegg til veggens U-verdi er kuldebroverdi for tilstøtende etasjeskiller vurdert.

Beregningsprogrammet Therm 6 er brukt for å bestemme U-verdier og kuldebroverdier. Programmet beregner 2-dimensjonal varmestrøm gjennom bygningskomponenter ved å simulere materialsjikt med tilhørende varmekonduktivitet, og innvendig og utvendig klima. Veggens U-verdi hentes direkte fra programmet, mens kuldebroverdier beregnes fra konstruksjonens totale varmetap fratrukket varmetapet gjennom de tilstøtende bygningsdeler. For kuldebro under terreng bestemmes kuldebroverdien ved først å finne varmetapet til komplett konstruksjon. Deretter settes varmekonduktiviteten til materialene i kuldebroen lik null, og varmetapet beregnes på nytt. Differansen mellom de to varmetapene er kuldebroverdien.

Veggtype	Tiltak TEK10	U-verdi TEK10	Tiltak passivhus	U-verdi passivhus
Teglstein	100 mm EPS + 100 mm min. ull	0,179 W/m <sup>2</sup> K	150 mm EPS + 100 mm min.ull	0,140 W/m <sup>2</sup> K
Bindingsverk	100 mm min.ull + 70 mm min. ull	0,177 W/m <sup>2</sup> K	150 mm min.ull + 100 mm min. ull	0,150 W/m <sup>2</sup> K
Tømmervegg	100 mm min ull + 150 mm min. ull	0,170 W/m <sup>2</sup> K	100 mm min ull + 200 mm min. ull	0,146 W/m <sup>2</sup> K
Sandwichelement	70 mm EPS utv.	0,175 W/m <sup>2</sup> K	70 mm EPS + 50 mm EPS	0,140 W/m <sup>2</sup> K

Etterisoleringens innvirkning på kuldebroen avhenger av forholdet mellom de tilstøtende bygningsdelenes varmekonduktivitet. Dersom etasjeskilleren har lav varmekonduktivitet sammenlignet med eksisterende vegg vil utvendig etterisolering kun gi marginalt bedre kuldebro enn ved innvendig etterisolering. I praksis vil det ikke oppstå en typisk kuldebro når sjiktet med lavest varmekonduktivitet blir isolert på utsiden av de varmeisolerende sjiktene. Eksempel på dette er opprinnelig uisolert teglsteinsvegg med etasjeskiller av isolert trebjelkelag. Motsatt vil være for etasjeskiller av betong og bindingsverksvegger av tre. Her vil etasjeskilleren helt eller delvis gå gjennom sjiktet med varmeisolasjon og føre til økt varmetap. Utvendig etterisolering vil i dette tilfelle gi en betydelig bedre kuldebro enn innvendig etterisolering da det varmeledende materiale brytes. Ved innvendig etterisolering blir ikke etasjeskilleren skilt fra omgivelsene utvendig, og kuldebroverdien vil faktisk stige noe grunnet veggens økte varmemotstand.

## Abstract

Today's society has a strong focus on the environment, climate and energy. This is reflected both in people's general attitudes and requirements of public authorities. Energy use in buildings plays a key role here, as the construction industry is assumed to be responsible for approx. 40 % of the world's resources and energy usage. Strict building regulations, however, focus mainly on new buildings. If the total energy consumption in buildings is to be reduced drastically, it is necessary to take measures regarding the large amount of existing buildings with large energy consumption.

Retrofitting of insulation is among the most effective measures in terms of savings per tonne of CO<sub>2</sub> equivalent. We distinguish roughly between two types of retrofitting of insulation, inside and outside. A new thermal insulating layer is applied to the existing structure, with new exterior envelope or container linings. The applied method of retrofitting is distributed mostly between lining insulated with mineral wool and EPS insulation and equivalent insulating material covered with fiber plaster. The thesis discuss insulation measures for five different types of walls - brick walls, timber frame wall, solid timber wall, concrete wall below ground and sandwich element. For each wall the thesis looks at insulation retrofitted to the interior, insulation retrofitted to the exterior, measures necessary to satisfy the current Norwegian Building Regulations, TEK10, and measures necessary to meet the passive house standard, NS 3700. The U-value requirements are respectively 0.18 W/m<sup>2</sup>K and 0.15 W/m<sup>2</sup>K. In addition to the wall's U-value, the thermal bridge between the wall and adjacent floor slab is assessed.

The calculation program Therm 6 is used to determine the U values and thermal bridge values. The program simulates a two-dimensional heat flow through building components by simulating material layers and each layer's corresponding thermal conductivity, in addition to interior and exterior boundary conditions. The U-value for each wall is obtained directly from the simulation results, while the thermal bridge values needs to be calculated from the structure's total heat loss minus the heat loss through the adjacent building components. For thermal bridges underground, the thermal bridge is determined by first finding the heat loss of the complete construction. Then the thermal conductivity of the materials of the thermal bridge is set to zero, and the heat loss is recalculated. The difference between the two calculated heat losses is thermal bridge.



Wall type	Measures TEK10	U-value TEK10	Measures NS 3700	U-value NS 3700
Brick wall	100 mm EPS + 100 mm min. wool	0,179 W/m <sup>2</sup> K	150 mm EPS + 100 mm min. wool	0,140 W/m <sup>2</sup> K
Timber frame wall	100 mm min. wool + 70 mm min. wool	0,177 W/m <sup>2</sup> K	150 mm min. wool + 100 mm min. wool	0,150 W/m <sup>2</sup> K
Solid timber wall	100 mm min wool + 150 mm min. wool	0,170 W/m <sup>2</sup> K	100 mm min wool + 200 mm min. wool	0,146 W/m <sup>2</sup> K
Sandwichelement	70 mm EPS outside.	0,175 W/m <sup>2</sup> K	70 mm EPS + 50 mm EPS	0,140 W/m <sup>2</sup> K

The retrofitting measure's effect on the thermal bridge depends on the ratio of the adjoining component's thermal conductivity. If the floor slab has a low thermal conductivity compared to the existing wall, retrofitting of insulation to the exterior will only provide a marginally better thermal bridge compared to retrofitting of insulation to the interior. In practice there will not be a standard thermal bridge when the layer with the lowest thermal conductivity is completely separated from the interior environment. An example of this is a brick wall not formerly insulated, adjacent to a floor of wooden joists insulated with mineral wool. And the other way around for a floor slab of concrete, adjacent to a timber frame wall. In this case the floor slab will completely or partially breach the low conductivity timber frame wall, and increase the structure's heat loss. Subsequent insulation retrofitted to the exterior will in this case significantly improve the thermal bridge compared to retrofitting of insulation to inside. If you apply a retrofitted layer of insulation to the inside, the floor slab will still be in contact with, or as close to, the outside environment as prior to the measure. As a result, the thermal bridge value will actually rise, due to the improved heat resistance of the exterior wall.

## Innholdsfortegnelse

1 Introduksjon .....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Formål og omfang.....	2
2 Metode.....	3
2.2 Generelt .....	3
2.2 Therm 6.....	3
3 Teori.....	7
3.1 Beregninger .....	7
3.2 Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK10) .....	8
3.3 NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger.....	9
4 Om etterisolering .....	10
5 Teglsteinsvegg.....	12
5.1 Typisk oppbygging .....	12
5.2 Innvendig etterisolering .....	14
5.3 Utvendig etterisolering.....	15
5.4 TEK10 og passivhusstandard .....	16
6 Bindingsverksvegg.....	18
6.1 Typisk oppbygging .....	18
6.2 Innvendig etterisolering .....	20
6.3 Utvendig etterisolering.....	21
6.4 TEK10 og passivhusstandard .....	22
7 Tømmervegg .....	24
7.1 Typisk oppbygging .....	24
7.2 Innvendig etterisolering .....	26
7.3 Utvendig etterisolering.....	27
7.4 TEK10 og passivhusstandard .....	28

8 Betongvegg under terreng .....	30
8.1 Typisk oppbygging .....	30
8.2 Innvendig etterisolering .....	32
8.3 Utvendig etterisolering .....	33
8.4 Kombinert innvendig og utvendig etterisolering .....	34
9 Sandwichelement .....	35
9.1 Typisk oppbygging .....	35
9.2 Innvendig etterisolering .....	37
9.3 Utvendig etterisolering .....	38
9.4 TEK10 og passivhusstandard .....	39
10 Resultater og diskusjon .....	41
10.1 Teglsteinsvegg .....	41
10.2 Bindingsverksvegg .....	42
10.3 Tømmervegg .....	43
10.4 Betongvegg under terreng .....	44
10.5 Sandwichelement .....	45
11 Konklusjon .....	46
Referanseliste .....	47

Vedlegg 1: U-verdier og kuldebroer fra Therm 6

Vedlegg 2: Kuldebroverdier kjellervegg

## Tabelliste

Tabell 1 Varmekonduktivitet for materialer .....	4
Tabell 2 Varmeovergangsmotstand for overflater. (Sintef, 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer, 2003) .....	4
Tabell 3 Energitiltak etter TEK10 .....	8
Tabell 4 Passivhus - krav til høyeste netto energibehov til oppvarming .....	9
Tabell 5 U-verdier og kuldebroverdier teglsteinsvegg .....	41
Tabell 6 U-verdier og kuldebroverdier bindingsverksvegg .....	42
Tabell 7 U-verdier og kuldebroverdier tømmervegg .....	43
Tabell 8 U-verdier og kuldebroverdier betongvegg under terreng .....	44
Tabell 9 U-verdier og kuldebroverdier sandwichelement .....	45

## Figurliste

Figur 1 Komplet konstruksjon for å beregne kuldebroverdi under terreng.....	6
Figur 2 Referansekonstruksjon hvor materiale i kuldebroen er satt til null varmekonduktivitet (rosa farge) .....	6
Figur 3 Prinsipp for innvendig og utvendig etterisolering .....	10
Figur 4 Uisolert teglsteinsvegg med utsikkende, forankret bjelkeende .....	12
Figur 5 Forskjellige forband brukt i teglsteinsvegger.....	12
Figur 6 Eksisterende teglsteinsvegg modellert i Therm 6.....	13
Figur 7 Temperaturfordeling eksisterende teglsteinsvegg .....	13
Figur 8 Teglsteinsvegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6 .....	14
Figur 9 Temperaturfordeling innvendig etterisolert teglsteinsvegg.....	14
Figur 10 Teglsteinsvegg utvendig etterisolert med 100 mm EPS-isolasjon modellert i Therm 6 .....	15
Figur 11 Temperaturfordeling utvendig etterisolert teglsteinsvegg .....	15
Figur 12 Teglsteinsvegg etterisolert med 100 mm EPS-isolasjon utvendig og 100 mm mineralull innvendig modellert i Therm 6 .....	16
Figur 13 Temperaturfordeling teglsteinsvegg etterisolert til TEK10-nivå .....	16
Figur 14 Teglsteinsvegg etterisolert med 150 mm EPS-isolasjon utvendig og 100 mm mineralull innvendig modellert i Therm 6 .....	17
Figur 15 Temperaturfordeling teglsteinsvegg etterisolert til passivhusstandard .....	17
Figur 16 Lett bindingsverksvegg med 100 mm mineralull etterisolert utvendig .....	18
Figur 17 Eksisterende bindingsverksvegg modellert i Therm 6 .....	19
Figur 18 Temperaturfordeling eksisterende bindingsverksvegg .....	19
Figur 19 Bindingsverksvegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6 .....	20
Figur 20 Temperaturfordeling innvendig etterisolert bindingsverksvegg.....	20
Figur 21 Bindingsverksvegg utvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6 .....	21
Figur 22 Temperaturfordeling utvendig etterisolert bindingsverksvegg.....	21
Figur 23 Bindingsverksvegg etterisolert med 170 mm mineralull modellert i Therm 6....	22
Figur 24 Temperaturfordeling bindingsverksvegg etterisolert til TEK10-nivå.....	22
Figur 25 Bindingsverksvegg etterisolert med 250 mm mineralull modellert i Therm 6....	23
Figur 26 Temperaturfordeling bindingsverksvegg etterisolert til passivhusstandard.....	23
Figur 27 Laftestokker med medfar og forskjellig tverrsnitt .....	24
Figur 28 Sammenlåsing i hjørne med nov.....	24
Figur 29 Eksisterende tømmervegg modellert i Therm 6 .....	25
Figur 30 Temperaturfordeling eksisterende tømmervegg .....	25

Figur 31 Tømmervegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6 .....	26
Figur 32 Temperaturfordeling i innvendig etterisolert tømmervegg .....	26
Figur 33 Tømmervegg utvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6 .....	27
Figur 34 Temperaturfordeling i utvendig etterisolert tømmervegg.....	27
Figur 35 Tømmervegg etterisolert med mineralull, 100 mm utvendig og 150 mm innvendig.....	28
Figur 36 Temperaturfordeling tømmervegg etterisolert til TEK10-nivå.....	28
Figur 37 Tømmervegg etterisolert med mineralull, 100 mm utvendig og 200 mm innvendig.....	29
Figur 38 Temperaturfordeling tømmervegg etterisolert til passivhusstandard.....	29
Figur 39 To typer tidlige grunnmur av betong.....	30
Figur 40 Oppfuktingskilder innvendig isolert betongvegg.....	30
Figur 41 Temperatutfordeling eksisterende kjellervegg.....	31
Figur 42 Eksisterende kjellervegg modellert i Therm 6 .....	31
Figur 43 Kjellervegg innvendig etterisolert med 100 m mineralull modellert i Therm 6 ..	32
Figur 44 Temperaturfordeling innvendig etterisolert kjellervegg .....	32
Figur 45 Kjellervegg og fasade utvendig etterisolert med 100 mm EPS-isolasjon modellert i Therm 6 .....	33
Figur 46 Temperaturfordeling utvendig etterisolert kjellervegg.....	33
Figur 47 Kjellervegg og fasade utvendig etterisolert med 100 mm EPS-isolasjon utvendig og 100 mm minerall innvendig, modellert i Therm 6 .....	34
Figur 48 Temperaturfordeling i utvendig og innvendig etterisolert kjellervegg .....	34
Figur 49 Snitt av sandwichelementvegg .....	35
Figur 50 Typiske tykkelser for sjikt i sandwichelement .....	35
Figur 51 Eksisterende elementvegg modellert i Therm 6.....	36
Figur 52 Temperaturfordeling eksisterende elementvegg.....	36
Figur 53 Elementvegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6 .....	37
Figur 54 Temperaturfordeling innvendig etterisolert elementvegg.....	37
Figur 55 Elementvegg utvendig etterisolert med 100 mm polystyren modellert i Therm 6 .....	38
Figur 56 Temperaturfordeling utvendig etterisolert elementvegg .....	38
Figur 57 Elementvegg etterisolert med 70 mm EPS-isolasjon modellert i Therm 6.....	39
Figur 58 Temperaturfordeling elementvegg etterisolert til TEK10-nivå .....	39
Figur 59 Elementvegg etterisolert med hhv 70 mm og 50 mm EPS-isolasjon utvendig og innvendig.....	40
Figur 60 Temperaturfordeling elementvegg etterisolert til passivhusstandard .....	40



# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Fokuset på klima, miljø og energibruk er høyt i dagens samfunn. Dette gjelder både folks generelle holdning til forurensing og hensyn til menneskers innvirkning på omgivelsene, men det kommer også fram i uttalelser, krav, regelverk, lover og forskrifter fra offentlige myndigheter. Blant annet har norske myndigheter uttalt at passivhusstandard vil bli forskriftskrav til nybygg innen 2015, og at man sikter mot nesten nullenergihus innen 2020 (Hauge, 2012). Hovedfokuset her ligger i imidlertid i stor grad på nybygg. Skal man gjøre noe med det totale energiforbruket i byggesektoren, må fokuset også rettes mot eksisterende bygninger. Byggenæringen kalles populært «40 % -næringen» i den forstand at ca. 40 % av all energibruk, materialbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp kan knyttes til byggenæringen. Det anslås at 80 % av dagens bygninger fortsatt vil være i bruk i 2020. Dette illustrerer potensialet som ligger i energioppgradering av eksisterende bygninger. Særlig med tanke på at de fleste av disse bygningene har et varmesolasjonsnivå og en teknisk standard som ligger langt under dagens krav og forventninger. Å etterisolere bygningskroppen er, etter å oppgradere belysning til LED, det enkelttiltaket som gir høyest innsparing per tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter utslipp (McKinsey & Company, 2009). I tillegg til at etterisolering av bygninger er gunstig globalt sett for miljøet har det også gevinst for byggeiere og –brukere. Riktige og korrekt utførte etterisoleringstiltak vil ikke bare redusere byggets varmetap og dermed oppvarmingsbehov og –kostnader. Bokomforten økes også da man får utbedret problemer som for eksempel trekk fra utette overganger og strålingsvarmetap til overflater og kuldebroer. På den annen side utgjør feil valg av løsninger og lav kvalitet på utførelse et mulig skadepotensial for bygningen. Byggskader forekommer relativt hyppig ved en del typiske etterisoleringstiltak, som følge av økt isolasjonstykkelse, feil bruk av diffusjonstette produkter eller andre forhold. Bærekraftighet er et viktig prinsipp ved slike tiltak og mange av tiltakene stiller store krav til både prosjekterende og utførende for ikke å virke mot sin hensikt. Om man tilfører skader, som regel i form av fukt, til bygninger som i utgangspunkt har fungert som de skal i lang tid bortfaller grunnlaget for å gjennomføre tiltakene.

## 1.2 Formål og omfang

Formålet med denne oppgaven er å vurdere forskjellige etterisoleringstiltak for fem ulike bygningstyper mot hverandre. Hovedformålet er å gi en oversikt over virkningen av de ulike tiltakene i form av U-verdier og kuldebroverdier. Det skal presenteres en oversikt over veggtypene med hvordan tiltakene er gjennomført. De fem veggtypene er

- Teglsteinsvegg
- Bindingsverksvegg
- Tømmervegg
- Sandwichelement
- Betongvegg under terreng

For hver av veggtypene er det sett på ett tiltak med innvendig etterisolering, ett tiltak med utvendig etterisolering og hvilke tiltak som skal til for å tilfredsstille henholdsvis TEK10 og passivhusstandard, NS 3700. For å bestemme U-verdier og kuldebroverdier brukes programmet Therm 6 utviklet av Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Programmet regner to-dimensjonal varmestrøm gjennom bygningskomponenter.



## 2 Metode

### 2.2 Generelt

Masteroppgaven tar for seg etterisolering av ulike typer fasader ved å sammenlikne innvendig og utvendig etterisolering, og se hvilke tiltak som skal til for å oppnå TEK10-nivå og tilfredsstillende kravene i passivhusstandard. For å vurdere tiltakene opp mot hverandre sees det på U-verdi før og etter tiltak, og hvilken innvirkning tiltakene har på veggens kuldebro. For hver veggtype er det modellert to meter av yttervegg henholdsvis over og under en typisk etasjeskiller for bygningstypen. Det er ikke vurdert tiltak med selve etasjeskilleren. Unntaket er for betongvegg under terreng. Her er det i tillegg til den aktuelle betongveggen tatt med gulv på grunn, etasjeskiller mot førsteetasje og yttervegg i førsteetasje. Beregningsprogrammet Therm 6 er brukt for å få finne varmestrømmen gjennom bygningsdelene.

### 2.2 Therm 6

Therm 6 er et beregningsprogram som beregner to-dimensjonal varmestrøm gjennom bygningskomponenter. Programmet har et grensesnitt der man tegner opp komponentene i tverrsnittet man ønsker å betrakte. De forskjellige komponentene legges inn i figuren med aktuelle mål og plassering i forhold til hverandre, og tilegnes tilhørende materialparametere. For beregning av varmestrøm gjennom homogene materialsjikt er det i hovedsak varmekonduktivitet som er aktuelt. For sammensatte tverrsnitt, som isolert bindingsverk og bjelkelag, er dette lagt inn som et nytt, homogent materiale hvor varmekonduktiviteten er gitt av de opprinnelige materialenes varmekonduktivitet og hvor stor andel det er av de forskjellige materialene i sjiktet. Varmekonduktiviteten brukt i beregningene er angitt i tabell 1. (Sintef, 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer, 2003)

Tabell 1 Varmekonduktivitet for materialer

Materiale	Varmekonduktivitet $\lambda$ , [W/mK]
Armert betong	2,5
Asfaltplate	0,05
Bindingsverk, mineralull 83 % treandel 17 %	0,053
Ekstrudert polystyren	0,032
Gipsplate	0,2
Løsmasser, grus	2,0
Mineralull	0,037
Murpuss	2,5
Parkett	0,18
Teglstein	0,9
Trebjelkelag, mineralull 88 %, treandel 12 %	
Treverk, gran	0,12

Therm 6 bruker funksjonen «Boundary Conditions» til å angi grenser og overflater. Dette gjelder både varmeovergangsmotstand for overflatene og settemperatur for omgivelsene. Innvendig temperatur settes til 20 °C og utvendig temperatur settes til 0 °C. Varmeovergangsmotstanden er et uttrykk for den motstanden varmeoverføring møter ved en innvendig eller utvendig overflate og varierer med varmestrømsretningen. Verdiene for overgangsmotstand er gitt i tabell 2. Det skilles mellom innvendig ( $R_{si}$ ) og utvendig ( $R_{se}$ ) overgangsmotstand, gitt i  $m^2K/W$ . Ved godt ventilerte luftsjukt, som for utvendig utlektet kledning, sees det bort fra varmemotstanden til luftsjuktet og materialene utenfor. Utvendig overgangsmotstand settes da lik den innvendige. (Sintef, 471.008 Beregning av U-verdi etter NS-EN ISO 6946, 1998).

Tabell 2 Varmeovergangsmotstand for overflater.

Overflate	Varmestrømsretning		
	Oppover	Nedover	Horisontalt
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

Beregningsprogrammet operer med filmkoeffisient med enhet  $W/m^2K$ . Det vil si at det er den inverse verdien av tallene i tabellen over som brukes i programmet.

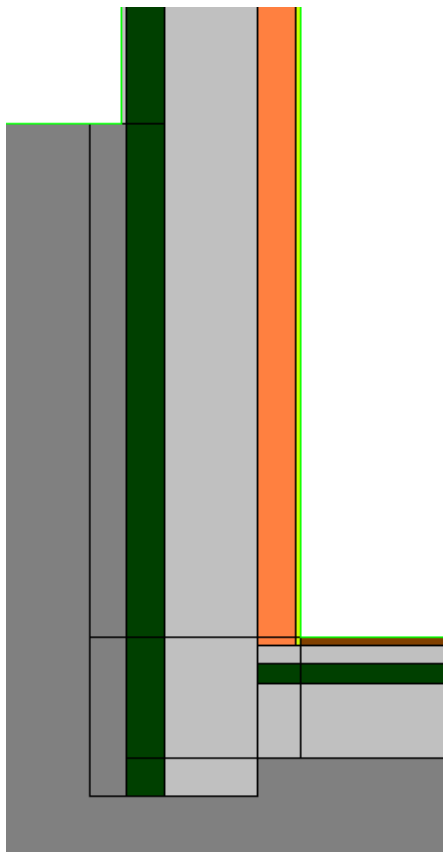
I tillegg til alle utvendige og innvendig overflater brukes overflatene «Spacer indoor» og adiabatisk. «Spacer indoor» har ingen overgangsmotstand, det vil si tilnærmet uendelig filmkoeffisient, og brukes på overflater uten varmetap. I denne oppgaven er dette kun innvendig etasjeskillere mellom oppvarmede rom. Adiabatisk grense brukes der det ikke foregår noen varmeutveksling, som der bygningsdelene avsluttes i figuren.

Programmet beregner selv U-verdien til de forskjellige bygningsdelene ved at ønsket overflate merkes med en U-verditagg. Kuldebroverdien kan ikke hentes direkte fra Therm 6, men bestemmes ved beregning basert på verdier fra programmet. Kuldebroverdien bestemmes fra formelen

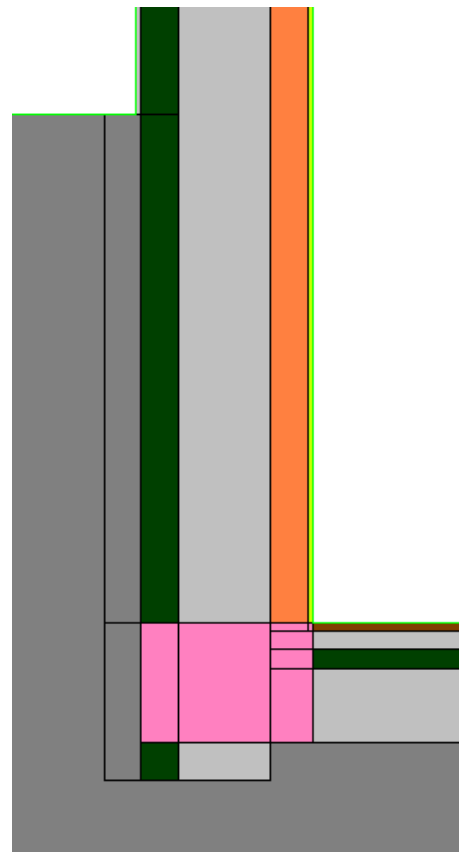
$$\Psi_K = L^{2D} - \sum_i U_i \cdot l_i \text{ [W/mK]}$$

der  $\Psi_K$  er kuldebroverdien,  $L^{2D}$  er varmetapet gjennom hele den modellerte konstruksjonen,  $U_i$  er U-verdien til bygningsdelene som grenser mot kuldebroen og  $l_i$  er hver bygningsdels lengde. U-verdien for tilstøtende bygningsdeler beregnes ved å sette en adiabatisk grense mot kuldebroen.

Betongvegg under terreng må behandles litt annerledes, da det ikke er mulig å sette en adiabatisk grense midt i modellen. Det lages to modeller, en komplett konstruksjon, og en referansekonstruksjon, der alt materiale i den aktuelle kuldebroen erstattes med et materiale med null varmekonduktivitet. Kuldebroverdien bestemmes av forskjellen i varmetap mellom de to konstruksjonene.



Figur 1 Komplett konstruksjon for å beregne kuldebroverdi under terreng



Figur 2 Referansekonstruksjon hvor materiale i kuldebroen er satt til null varmekonduktivitet (rosa farge)

## 3 Teori

### 3.1 Beregninger

NS3031 angir beregningsmetodene for å bestemme bygningens energibehov. Her presenteres teorigrunnlaget og ligningene som inngår i en fullstendig beregning av byggets energiytelse. Dette gjøres gjennom et stort antall beregninger og er vanskelig å håndtere på en enkel måte manuelt. Beregninger overlates derfor i stor grad til dataprogrammer som SIMIEN som bygger på metodene angitt i standarden. Standarden angir også klimadata og standardverdier for parametere internt varmetilskudd ved evaluering av oppvarmingsbehov opp mot forskriftskrav. Bygningens oppvarmingsbehov for måned  $i$  er gitt ved:

$$Q_{H,n,d,i} = Q_{H,l_s,i} - \eta_{H,i} Q_{g,n,i}$$

Hvor  $Q_{H,l_s,i}$  er varmetap,  $\eta_{H,i}$  er utnyttingsfaktor og  $Q_{g,n,i}$  er varmetilskudd.

Årlig oppvarmingsbehov beregnes ved å summere alle månedene i året. Varmetapet er beregnet fra varmetransmisjonstap, ventilasjonsvarmetap, infiltrasjonsvarmetap, innendørs temperatur, gjennomsnittlig utetemperatur for måneden og varmetap til grunnen. Varmetilskudd er summen av internt varmetilskudd og varmetilskudd fra sol for måneden.

U-verdi er gitt av formelen

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

hvor  $R_T$  er veggens totale varmemotstand og  $\Delta U$  er tillegg på grunn av hulrom i isolasjonen, mekaniske festeanordninger og nedbør på omvendte tak.  $R_T$  er summen av konstruksjonens varmemotstand,  $R$ , samt innvendig og utvendig overgangsmotstand,  $R_{si}$  og  $R_{se}$ . Varmemotstanden,  $R$ , er gitt av

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

hvor  $d$  er sjiktets tykkelse i meter og  $\lambda$  er materialets varmekonduktivitet i W/mK.

### 3.2 Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK10)

Formålet med teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK10) er “å sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi.” TEK gjelder som hovedregel for nybygg, men omfatter også hovedombygging. Det er også aktuelt å bruke TEK10 som utgangspunkt i rehabiliteringsprosjekter da mange ønsker å løfte energistandarden i huset opp til dagens nivå. Forskriften angir to metoder for å dokumentere energibruken i bygget. Energiltaksmetoden angir et sett absolutt krav til U-verdier, kuldebroverdier, varmegjenvinning m.m. Energirammemetoden angir et maksimalt tillat oppvarmingsbehov basert på byggets størrelse og type. Det er fremdeles minstekrav til den enkelte bygningsdel og –komponent, men disse er mildere enn for energiltak og tillater større grad av omfordeling av varmetapet. Man velger selv hvilken av metodene man prosjekterer etter.

Tabell 3 Energiltak etter TEK10

Krav energiltak TEK10	Boligbygning	Øvrige Bygninger
Andel vindus- og dørareal	≤ 20 % av oppv. BRA	≤ 20 % av oppv. BRA
U-verdi vegg	≤ 0.18 W/m <sup>2</sup> K	≤ 0.18 W/m <sup>2</sup> K
U-verdi tak	≤ 0.13 W/m <sup>2</sup> K	≤ 0.13 W/m <sup>2</sup> K
U-verdi gulv	≤ 0.15 W/m <sup>2</sup> K	≤ 0.15 W/m <sup>2</sup> K
U-verdi vindu/dør	≤ 1.2 W/m <sup>2</sup> K	≤ 1.2 W/m <sup>2</sup> K
Norm. Kuldebroverdi	≤ 0.03 W/m <sup>2</sup> K	≤ 0.06 W/m <sup>2</sup> K
Lekkasjetall N <sub>50</sub>	2.5 h <sup>-1</sup>	1.5 h <sup>-1</sup>
Virkn.grad varmegjenvinner	≥ 70 %	≥ 80 %
SFP-faktor	2.5	2.0

### 3.3 NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger

Standarden angir kravene til å klassifisere en bygning som passivhus. Passivhusbegrepet ble lansert av Passivhusinstituttet i Tyskland og er tilpasset norske forhold med forskjeller i klima, materialer og byggeskikk. Det sentrale kravet i NS 3700 er et oppvarmingsbehov lavere enn 15 kWh/m<sup>2</sup>år ved gulvareal over 250 m<sup>2</sup>. I tillegg stilles det minimumskrav til den enkelte bygningsdel. Standarden angir også minstekrav for å oppfylle definisjonen lavenergihus. Lavenergihus tillater høyere energibehov til romoppvarming med 30 kWh/m<sup>2</sup>år, men vil på samme måte som passivhus angi at boligen har svært lavt energibehov. Standarden anvendes i hovedsak ved prosjektering av nybygg, men vil på samme måte som TEK være aktuell å bruke som målsetning ved rehabilitering og etterisolering. Her må det imidlertid ofte godtas en tilnærming da det som regel vil være lite hensiktsmessig å oppgradere f. eks. gulv på grunn til passivhusstandard. Standarden setter også som krav til at beregnet mengde levert elektrisk og fossil energi skal være mindre enn totalt nettoenergibehov fratrukket 50 % av netto energibehov til varmtvann.

Tabell 4 Passivhus - krav til høyeste netto energibehov til oppvarming

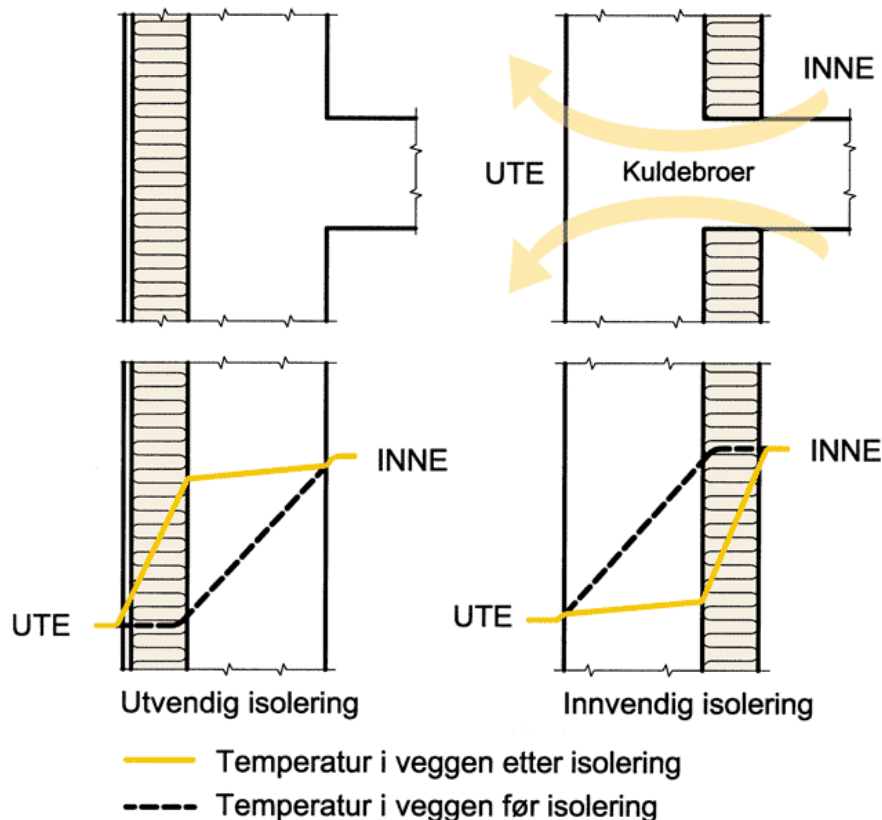
Årsmiddeltemperatur, $\theta_{ym}$	Høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming kWh/(m <sup>2</sup> ·år)	
	Boligbygning der $A_{\text{H}} < 250 \text{ m}^2$	Boligbygning der $A_{\text{H}} \geq 250 \text{ m}^2$
$\geq 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{\text{H}})}{100}$	15
$< 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{\text{H}})}{100} + \left(2,1 + 0,59 \times \frac{(250 - A_{\text{H}})}{100}\right) \times (6,3 - \theta_{ym})$	$15 + 2,1 \times (6,3 - \theta_{ym})$

Oppfyllelse av passivhusstandarden byr på en del utfordringer, spesielt innenfor rammene av et eksisterende bygg. Store tykkelser på bygningsdeler gjør detaljer og overganger kompliserte. Dette gjør også at kuldebroer får uforholdsmessig stor innvirkning på byggets varmetap. Man må også være ekstra nøye i forhold til fukt i konstruksjonen da økt isolasjonstykkelse øker faren for kondensering, og eventuell akkumulert fukt får lengre distanse å diffundere ut til uteluft. I tillegg innebærer de økte isolasjonstykkelsene som kreves for å oppfylle passivhuskravene at innvendig gulvareal reduseres tilsvarende. Dette blir særlig synlig i mindre bygninger og rom og kan i tillegg til å gå utover rommets funksjon hadde innvirkning på kvadratmeterprisen ved eventuelt salg.

Det er ikke lenger satt minstekrav til U-verdier for yttervegger i standarden utenom at de skal oppfylle minstekravene i byggeteknisk forskrift. Derfor er det gamle minste krav på U-verdi  $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  brukt som mål. Merk også at dette kun er for yttervegger. For å oppfylle passivhusstandarden må hele huset tilfredsstillende kravene. For eksempel gulv på grunn er utfordrende uten å treffe omfattende tiltak.

## 4 Om etterisolering

Etterisolering defineres som fysiske tiltak på bygningskroppen som øker bygningsdelens varmemotstand. Dette deles som regel inn i tre forskjellige tiltak – innvendig etterisolering, utvendig etterisolering og isolering av hulrom i eksisterende konstruksjon. Ved innvendig og utvendig etterisolering tilføres et ekstra sjikt med isolasjonsmaterialer henholdsvis innvendig og utvendig av eksisterende isolasjonssjikt eller bærekonstruksjon. Isolering av hulrom i eksisterende konstruksjon kan enten utføres ved at man river kledning innvendig eller utvendig, eller ved innblåsing av løsmasseisolasjon.



Figur 3 Prinsipp for innvendig og utvendig etterisolering

Ved etterisolering av yttervegg vil man som regel velge enten innvendig eller utvendig isolering, eventuelt en kombinasjon av de to metodene. Hvilken metode man velger avhenger av en vurdering av bygningens tilstand samt avveining av fordelene og ulempene ved de to metodene. Generelt vil utvendig etterisolering være mest aktuelt ved større arbeider med byggets fasade, f. eks. skifte av kledning, mens innvendig etterisolering ofte utføres i sammenheng med innvendig rehabilitering.



Fordeler med innvendig etterisolering:

- Berører ikke byggets fasade. Avgjørende ved vernet fasade eller hvor man ellers ikke ønsker å gjøre noe med eksisterende fasade.
- Mulig å isolere rom for rom. Kan for eksempel kun isolere oppholdsrom eller andre oppvarmede rom og treffe tiltak der de har størst effekt. Gunstig i forhold til investeringskostnad.
- Mulighet for utbedring/ montering av ny dampspærre. Særlig viktig ved høy isolasjonstykkelse. Tett dampspærre øker også til veggens lufttetthet.

Ulemper med innvendig etterisolering:

- Innvendig gulvareal reduseres etter som man bygger innover fra eksisterende yttervegg.
- Liten mulighet til å utbedre eventuell utett vindspærre. Risikerer at isolasjonen er utsatt for luftskifte og dermed får redusert isolasjonsevne.
- Kuldebroer ved skillevegger og etasjeskillere brytes ikke. Medfører ekstra varmetap ved kuldebroer, samt større fare for kondens og muggvekst på innvendig overflate.
- Kan være utfordrende og kostnadsdrivende dersom interiøret kompliserer arbeidet. F.eks. mange skillevegger, spesielle vegger som baderomsvegger med membran og keramiske fliser, fastmontert innredning som kjøkkenskap.

Fordeler med utvendig etterisolering:

- Bygger utover, kan i prinsippet legge til så stor isolasjonstykkelse som ønsket.
- Ny vindspærre kan monteres med tilstrekkelig tetting ved overganger og rundt gjennomføringer.
- Hele veggen isoleres som en flate. Dette innebærer at man får brutt alle kuldebroer som innvendige vegger og etasjeskillere som går mot ytterveggen.
- Mindre fare for kondens og fukt da temperaturen på innvendig overflate av eksisterende konstruksjon ikke påvirkes.

Ulemper med utvendig etterisolering:

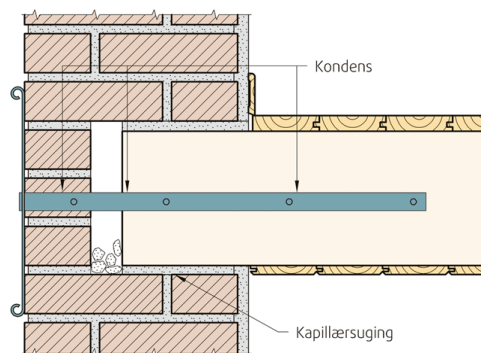
- Får ikke tilgang til dampspærre uten samtidig å gjøre tiltak innvendig. Risikerer kondens og eventuelt fuktskader i konstruksjonen ved utett dampspærre.
- Vinduer og dører blir stående langt inn i konstruksjonen om veggtykkelsen økes betraktelig. Stiller høye krav til løsning og utføring av beslag og tetting rundt vindu.

## 5 Teglsteinsvegg

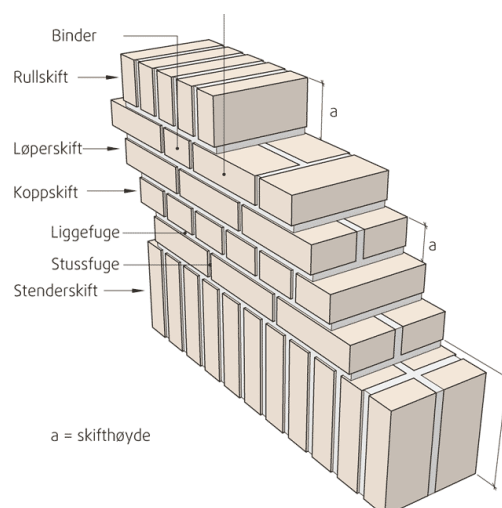
### 5.1 Typisk oppbygging

Teglsteinsvegger er vegger murt opp av brente teglsteiner i forskjellige mønster, forband og tykkelser. Veggene kan være utført som rene uisolerte teglvegger, med eller uten puss utvendig og innvendig, eller med en indre og ytre vange med luftespalte eller isolasjonsmaterialer mellom. Teglstein er brukt både som bærende yttervegg, og utvendig forblending av for eksempel betong- og bindingsverksvegger. Teglstein er også brukt i utmurt bindingsverk, der steinen fyller opp hulrommet mellom den bærende trekonstruksjonen.

Teglsteinsvegger ble mye brukt i de større byene fra 1800-tallet og mange av byggene står i dag. Byggene er derfor veldig aktuelle objekt for etterisolering, både fra profesjonelle utbyggere og i forbindelse med oppussing fra private huseiere.

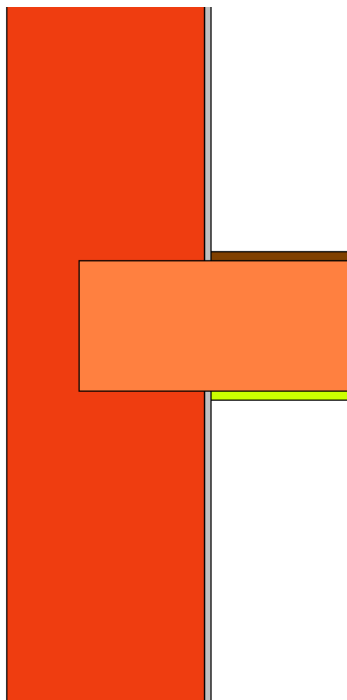


**Figur 4 Uisolert teglsteinsvegg med utsikende, forankret bjelkeende. (Sintef, 723.235 Murte fasader. Skader og utbedringsalternativer, 2009)**

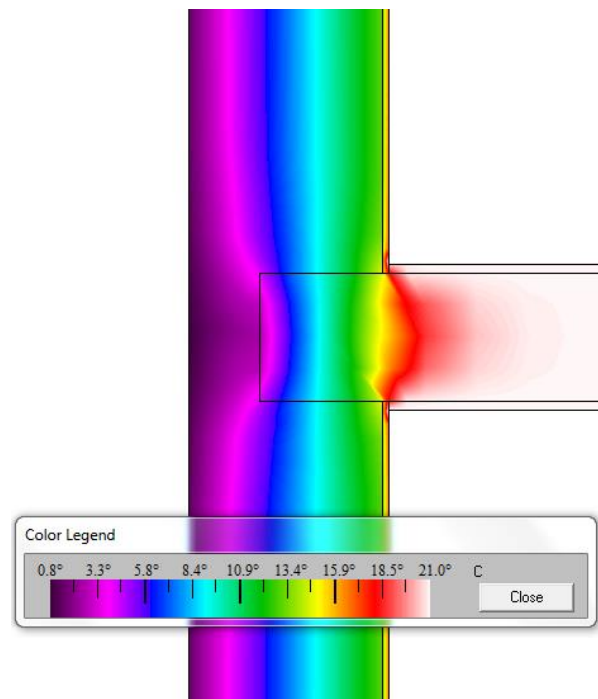


**Figur 5 Forskjellige forband brukt i teglsteinsvegger. (Sintef, 523.221 Murte yttervegger. Forband, byggemål og modulprosjektering, 2007)**

Fra midten av 1900-tallet ble det vanlig å bygge veggene med en ytre og indre teglsteinsvange med mineralullisolasjon i mellom. Tidligere vegger var derimot som regel uisolert eller kun med en luftspalte mellom vangene. I modellen i Therm 6 er det lagt inn en uisolert teglvegg med tykkelse tilsvarende en og en halv stein, 300 mm. En uisolert vegg vil naturligvis være den som gir størst potensiale for etterisolering og er mest interessant med tanke på innvirkningen tiltakene har på kuldebroen. Etasjeskiller er lagt inn som trebjelkelag isolert med 200 mm mineralull. Veggene har ingen utvendig eller innvendig kledning utenom et innvendig lag med murpuss.



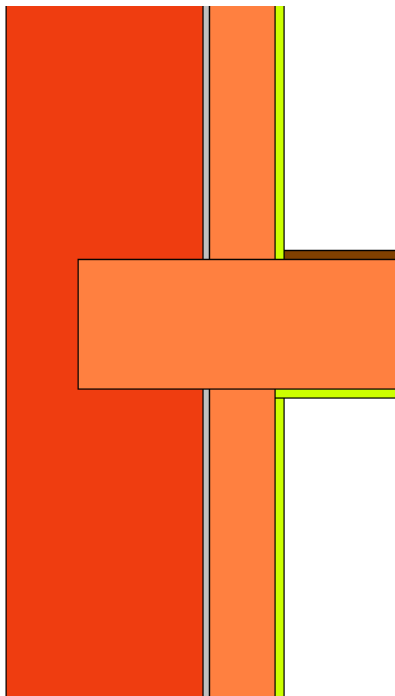
Figur 6 Eksisterende teglsteinsvegg modellert i Therm 6



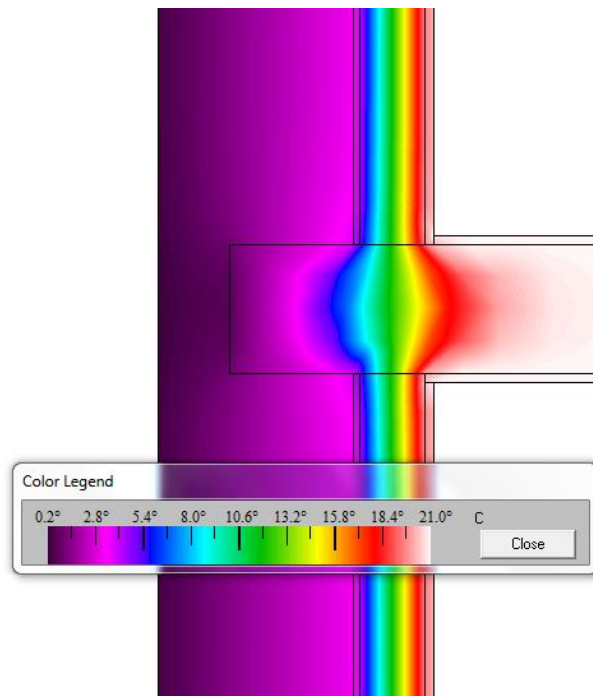
Figur 7 Temperaturfordeling eksisterende teglsteinsvegg

## 5.2 Innvendig etterisolering

Innvendig etterisolering av teglsteinsvegg utføres normalt som utføring med trestendere, eventuelt en frittstående stendervegg tett inntil eksisterende murkonstruksjon. Det er viktig å vurdere frostbestandigheten til teglstein, særlig ved større isolasjonstiltak innvendig. Som illustrert på figuren av temperaturfordelingen senkes temperaturen i teglsjiktet ved innvendig etterisolering. Dette gir dårligere uttørking når veggen fuktes opp av nedbør og risikoen for frostsprengning blir betydelig. Frostbestandigheten må vurderes individuelt for hvert tilfelle, basert på fasadens alder og tilstand. Modellen i Therm 6 er foret ut med trestendere, isolert med 100 mm mineralull og kledd med 13 mm gipsplater innvendig.



Figur 8 Teglsteinsvegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6

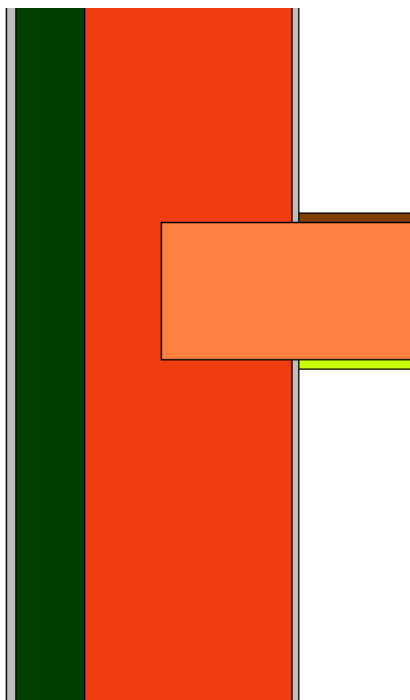


Figur 9 Temperaturfordeling innvendig etterisolert teglsteinsvegg

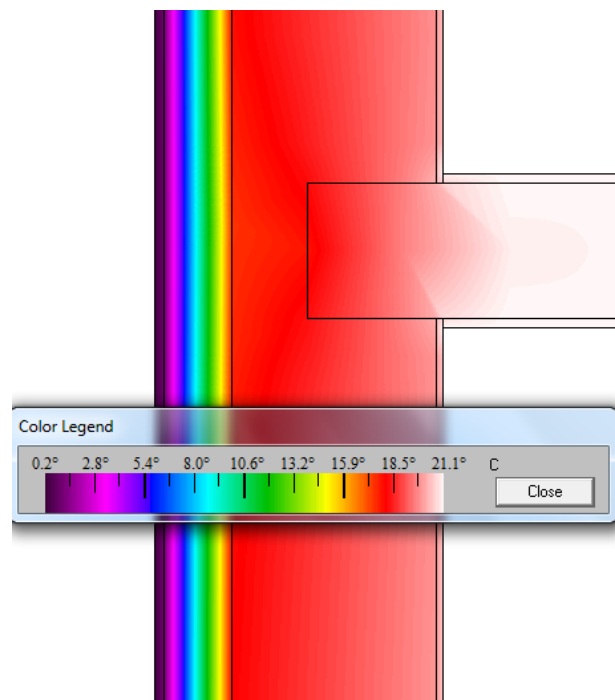
### 5.3 Utvendig etterisolering

Utvendig etterisolering er ikke veldig vanlig for teglsteinsvegger. Det kan være at fasaden er vernet eller at man av estetiske årsaker ønsker å beholde fasaden som den er. Det er likevel et alternativ dersom ingen av årsakene nevnt er tilfelle, og kan være nødvendig for å oppnå ønsket isolasjonstykkelse på en fornuftig måte. Utvendig etterisolering av teglsteinsvegg kan utføres som isolert utforing med vindsperre og kledning eller murplate/ EPS med fiberarmert puss. I tillegg er det mulig å mure en forblending av teglstein for i større grad å beholde byggets opprinnelige uttrykk.

I modellen er det lagt på 100 mm EPS-isolasjon utvendig, som er pusset med fiberpuss.



Figur 10 Teglsteinsvegg utvendig etterisolert med 100 mm EPS-isolasjon modellert i Therm 6



Figur 11 Temperaturfordeling utvendig etterisolert teglsteinsvegg

## 5.4 TEK10 og passivhusstandard

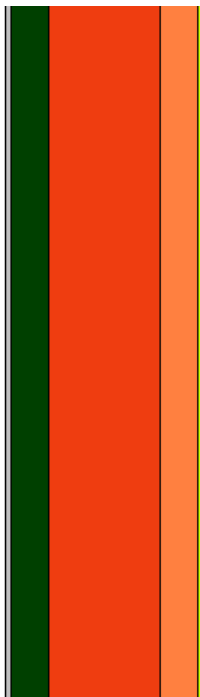
For å oppnå TEK10-nivå isoleres veggen med ca. 200 mm ytterligere isolasjon, avhengig av fordelingen av isolasjonstykkelsen på innvendig og utvendig etterisolering.

Utelukkende innvendig etterisolering bør unngås med hensyn til frostbestandigheten til opprinnelig teglsteinsvegg og fuktproblemer i veggen, samt stor reduksjon av gulvareal. Kun utvendig etterisolering er et alternativ dersom hensynet til fasaden tillater det.

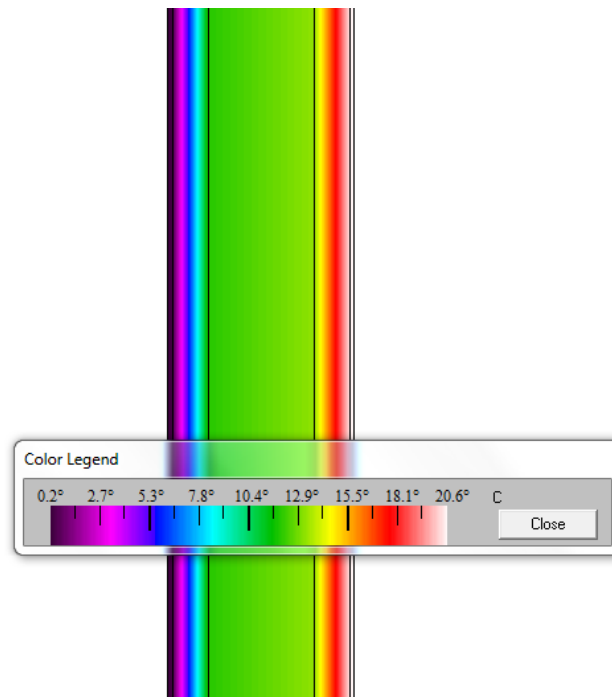
Dette tiltaket krever også totalt sett lavere isolasjonstykkelse, da EPS-isolasjonen som brukes utvendig har vesentlig lavere varmekonduktivitet enn en bindingsverksvegg med mineralull og høy treandel.

Dette tiltaket krever også totalt sett lavere isolasjonstykkelse, da EPS-isolasjonen som brukes utvendig har vesentlig lavere varmekonduktivitet enn en bindingsverksvegg med mineralull og høy treandel.

I modellen er det lagt inn 100 mm EPS-isolasjon pusset med fiberpuss utvendig, kombinert med 100 mm mineralull innvendig.

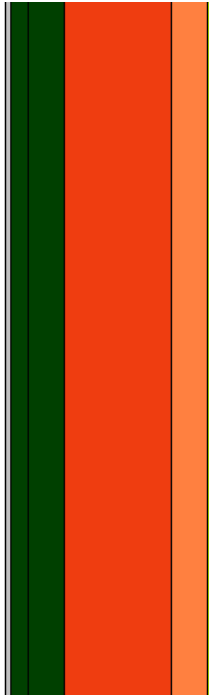


Figur 12 Teglsteinsvegg etterisolert med 100 mm EPS-isolasjon utvendig og 100 mm mineralull innvendig modellert i Therm 6

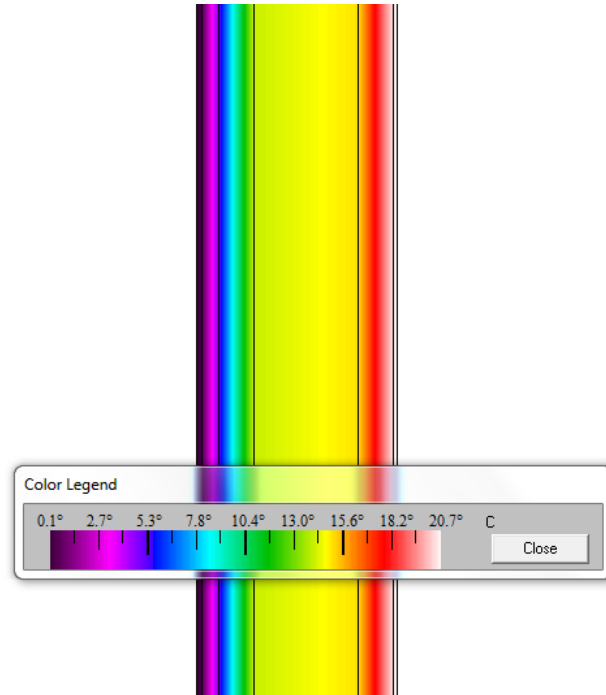


Figur 13 Temperaturfordeling teglsteinsvegg etterisolert til TEK10-nivå

For å oppnå passivhusstandard kreves ytterligere 50 mm EPS-isolasjon utvendig sammenlignet med TEK10-nivå, totalt 150 mm. Den ekstra isolasjonen legges utvendig hovedsakelig grunnet EPS-isolasjonens lavere varmekonduktivitet, og derfor lavere nødvendig isolasjonstykkelse.



**Figur 14** Teglsteinsvegg etterisolert med 150 mm EPS-isolasjon utvendig og 100 mm mineralull innvendig modellert i Therm 6

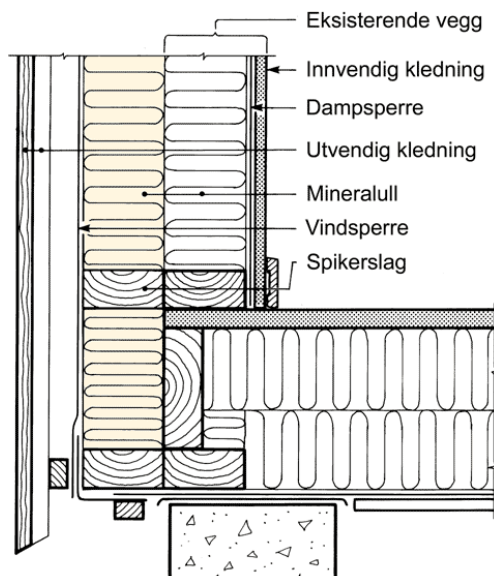


**Figur 15** Temperaturfordeling teglsteinsvegg etterisolert til passivhusstandard

## 6 Bindingsverksvegg

### 6.1 Typisk oppbygging

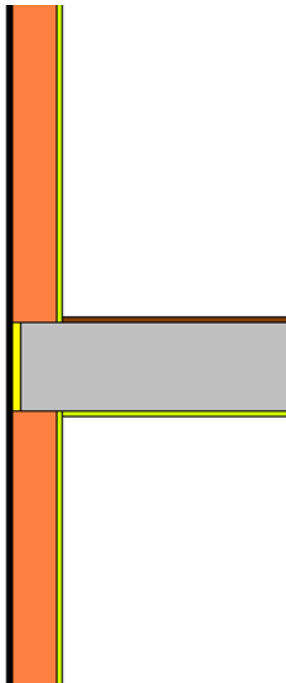
Bindingsverksvegg har vært dominerende byggemåte for konstruksjoner i treverk fra midten av 1900-tallet frem til i dag. Veggene reduserer materialbruken betydelig sammenlignet med tidligere tømmer- og reisverksvegger og massivt trevirke, og gir også hulrom med plass til mineralull. Veggene er som regel bygget opp med en topp- og bunnsvill med stående stendere plassert med 600 mm senteravstand. Bredden på stenderne bestemmer sammen med eventuell innvendig eller utvendig påforing tykkelsen på veggens isolasjonssjikt. Utvendig er det vanlig med et vindsperrsjikt av vindtette plater eller rullprodukt, samt utlektet bordkledning. Innvendig er det montert dampsperre, samt innvendig kledning av trepanel eller plateprodukter. Bindingsverk blir både brukt som bærende konstruksjon i småhus og som klimaskjerm i større bygg, for eksempel mellom etasjeskillere av betong.



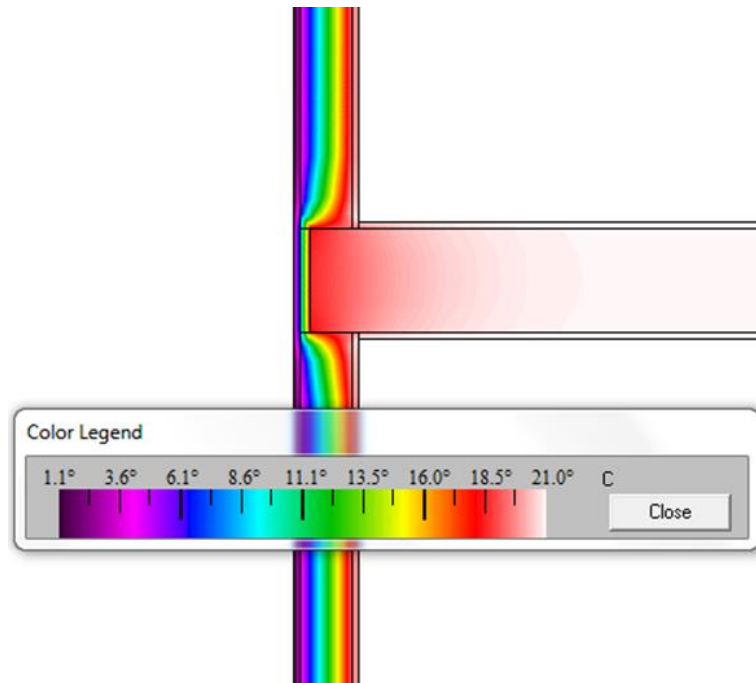
Figur 16 Lett bindingsverksvegg med 100 mm mineralull etterisolert utvendig. (Sintef, 723.511 Etterisolering av yttervegger av tre, 2004)



Selv om tidligere vegger gjerne var uisolert, er det tatt utgangspunkt i at eksisterende vegg er isolert. For eldre bygninger må imidlertid tilstanden til denne isolasjonen vurderes. Den vil som regel være forringet, for eksempel på grunn av sammensynking, og potensiale for etterisolering er enda høyere enn det som er beregnet her. Det er også brukt etasjeskillere i betong for tydelig å illustrere forskjellen innvendig og utvendig etterisolering har på kuldebroen i slike bygg. På kanten av betongdekket er det lagt inn 20 mm mineralull som kuldebryter. Eksisterende bindingsverksvegg er isolert med 100 mm mineralull, kledd utvendig med asfaltimpregnert trefiberplate og utlektet kledning. Innvendig er det dampsperre og 13 mm gipsplate som kledning. Tykkelsen på betongdekke er satt til 250 mm.



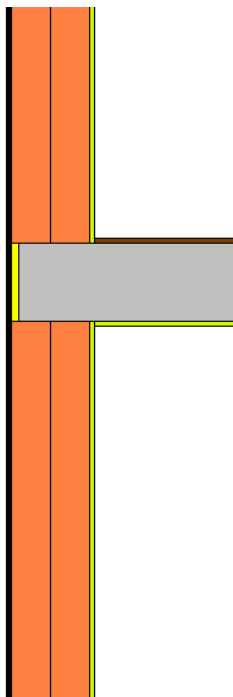
Figur 17 Eksisterende bindingsverksvegg modellert i Therm 6



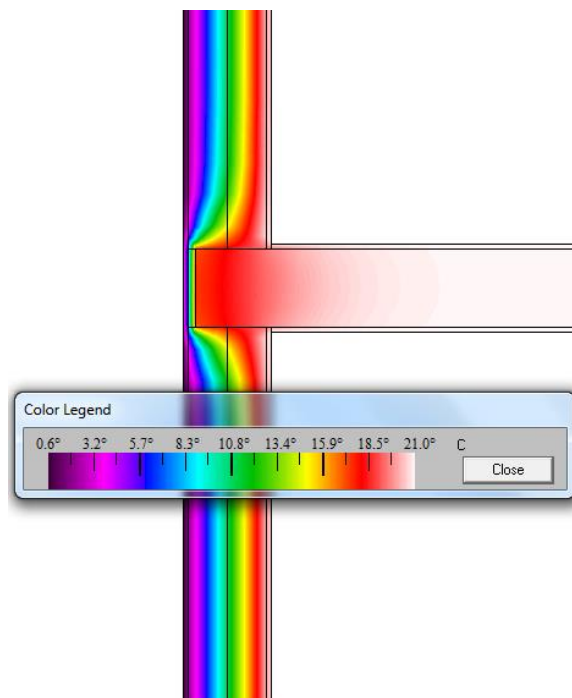
Figur 18 Temperaturfordeling eksisterende bindingsverksvegg

## 6.2 Innvendig etterisolering

Innvendig etterisolering utføres normalt som påføring av eksisterende bindingsverk. Dampspærre og innvendig kledning rives før veggen fores ut til ønsket tykkelse. Deretter monteres ny dampspærre og innvendig kledning. Påforingen kan med fordel deles opp slik at dampspærren kan trekkes inn i veggen. Da kan skjult elektrisk anlegg og tilsvarende installasjoner legges i det innerste sjiktet. Dampspærren spares for unødvendig punkteringer ved gjennomføringer og integriteten opprettholdes. I tillegg kan man krysslekte spikerslagene for å bryte kuldebrovirkningen av en gjennomgående stender. I modellen er dampspærre og innvendig kledning revet, før det er lektet ut for 100 mm tilleggsisolasjon med mineralull og ny dampspærre og innvendig kledning er montert.



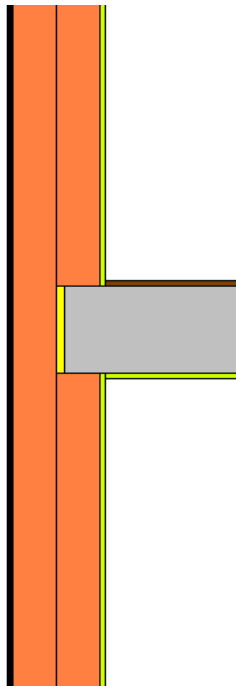
Figur 19 Bindingsverksvegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6



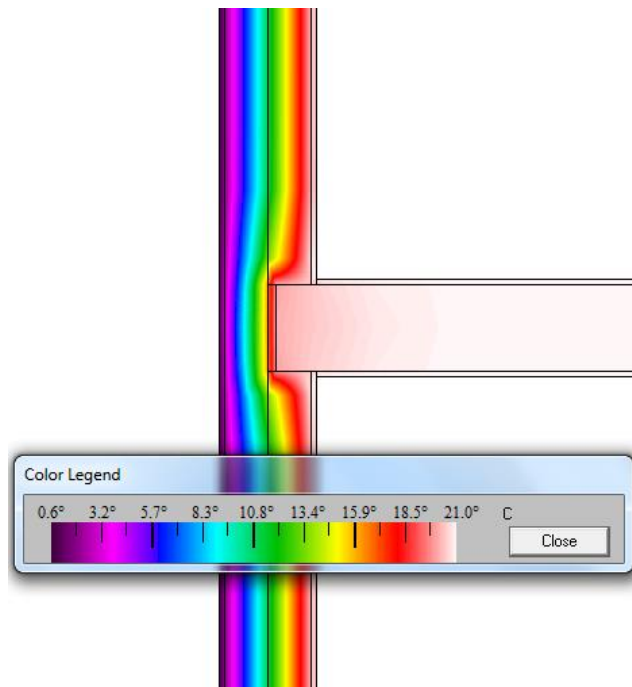
Figur 20 Temperaturfordeling innvendig etterisolert bindingsverksvegg

### 6.3 Utvendig etterisolering

Utvendig etterisolering av bindingsverksvegg utføres normalt tilsvarende som for innvendig etterisolering. Eksisterende utvendig kledning, lekter og vindsperre fjernes, veggens lektes ut ønsket tykkelse og ny vindsperre og kledning monteres. Denne løsningen er særlig gunstig for å utbedre den store kuldebroen som er ved slike konstruksjoner. Den utvendige etterisoleringen går kontinuerlig forbi etasjeskilleren og stopper varmetapet fra betongdekket. I simuleringen er det lektet ut med trestendere og etterisolert med 100 mm mineralull.



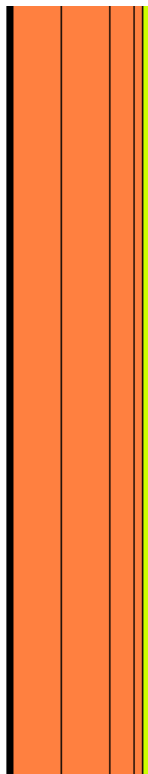
Figur 21 Bindingsverksvegg utvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6



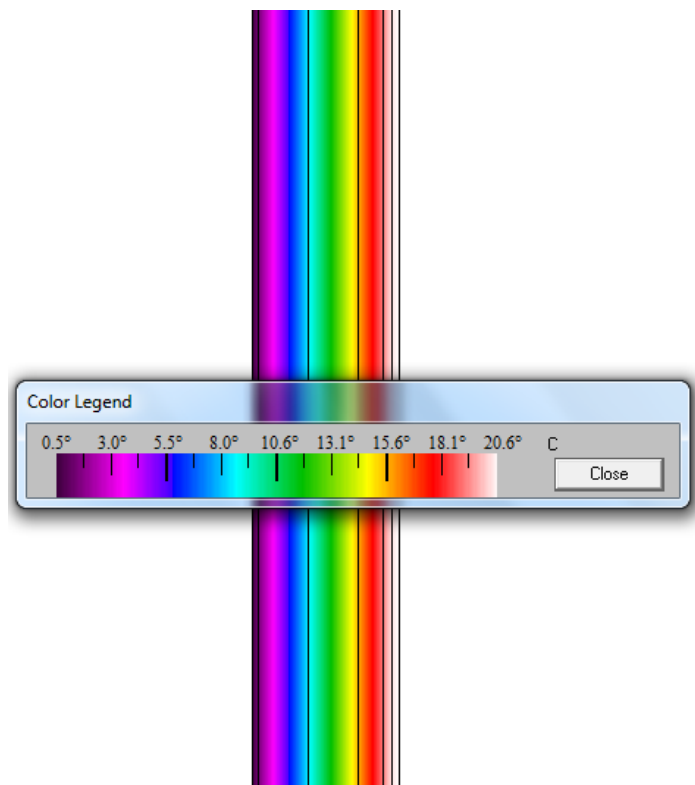
Figur 22 Temperaturfordeling utvendig etterisolert bindingsverksvegg

## 6.4 TEK10 og passivhusstandard

For å tilfredsstille kravene til TEK10 etterisoleres veggen med totalt 170 ekstra mineralull. Fordelingen av denne etterisoleringen er ikke tatt hensyn til her, da tverrsnittet utenom innvendig og utvendig kledning er tilnærmet homogent. Mesteparten av tilleggisolasjonen plasseres imidlertid utvendig for i størst mulig grad å redusere kuldebroen og spare gulvareal innendørs. Dette forutsetter at vinduer, takutstikk og andre hensyn ved fasaden ikke berøres.

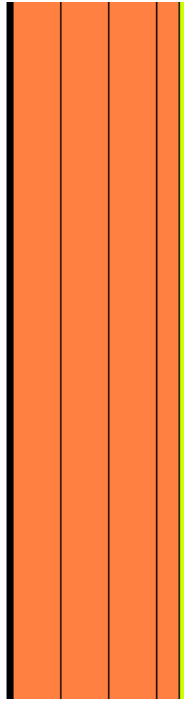


Figur 23 Bindingsverksvegg etterisolert med 170 mm mineralull modellert i Therm 6

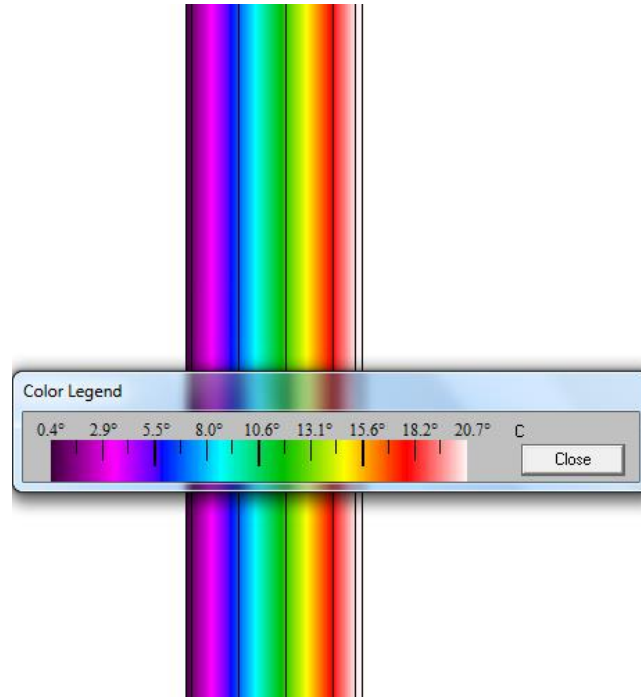


Figur 24 Temperaturfordeling bindingsverksvegg etterisolert til TEK10-nivå

For å oppnå passivhusstandard etterisoleres veggene med 250 mm ekstra mineralull. De samme prinsippene som ved etterisolering til TEK10-nivå gjelder, men blir enda viktigere med den økte isolasjonstykkelsen.



**Figur 25** Bindingsverksvegg etterisolert med 250 mm mineralull modellert i Therm 6



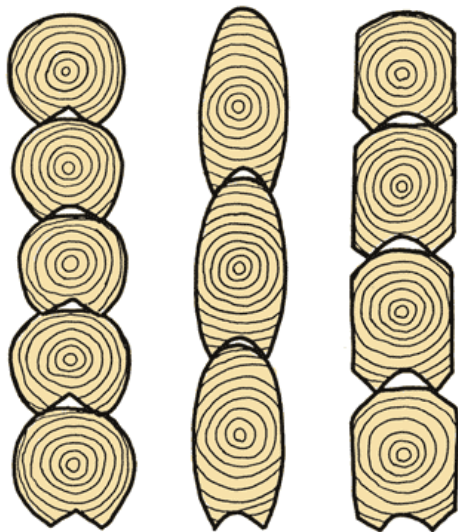
**Figur 26** Temperaturfordeling bindingsverksvegg etterisolert til passivhusstandard

## 7 Tømmervegg

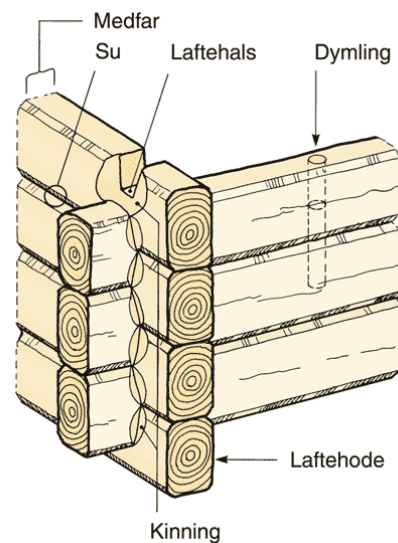
### 7.1 Typisk oppbygging

Tømmervegger var den dominerende byggemåten for trehus fra middelalderen frem til slutten av 1800-tallet. Den opprinnelige laftemåten var hele stokker, med medhogg i underkant for å få stokkene til å ligge stabilt på den underliggende stokken. I hjørner ble det hugget ut nov for å låse stokkene. Fra slutten av 1700-tallet ble det vanlig å flathogge stokkene for å få en slettere veggoverflate med synlig tømmer. Senere ble det også vanlig å kle inn tømmerveggene, noe som reduserte kravet til overflatebehandling av tømmerstokkene. Fra slutten av 1800-tallet begynte flere sagbruk å produsere maskinlaft med not og fjær for sammenføring av stokkene.

På Østlandet var vanlig stokktverrsnitt mellom 5 og 7 tommer, mens det på Vestlandet kunne være ned i 3 tommer (Sintef, 723.304 Eldre laftede vegger. Metoder og materialer, 2007). Grovere tømmervegg som var kledd inn var ofte foret ut for å rette opp skjevheter, og utforingen ble brukt som spikerslag for kledning.

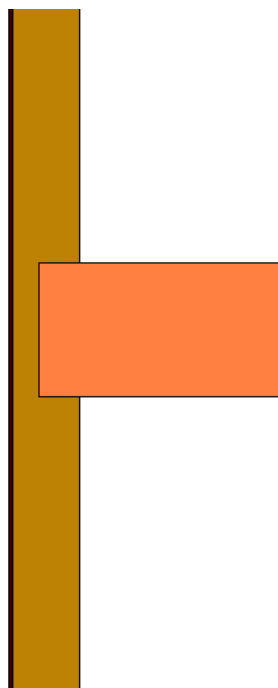


Figur 27 Laftestokker med medfar og forskjellig tverrsnitt (Sintef, 523.291 Laftede vegger, 2006)

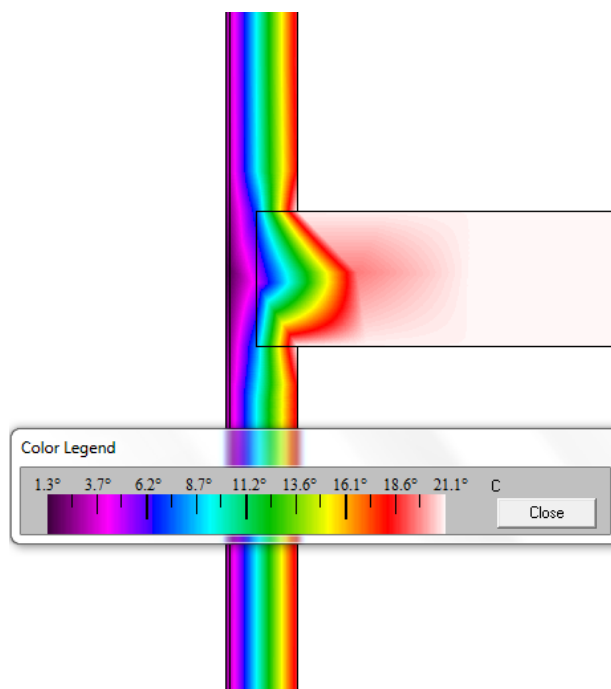


Figur 28 Sammenlåsning i hjørne med nov (Sintef, 523.291 Laftede vegger, 2006)

I modellen er det lagt inn en 4 tommers (100 mm) tømmervegg, med utvendig vindsperre og utforet kledning. Det er antatt at luftskiftet bak kledning er tilsvarende som ved vanlig utlektet kledning, derfor er utvendig overgangsmotstand satt lik innvendig. Innvendig er det ikke regnet med kledning for eksisterende konstruksjon. Etasjeskiller er trebjelkelag isolert med 200 mm mineralull.



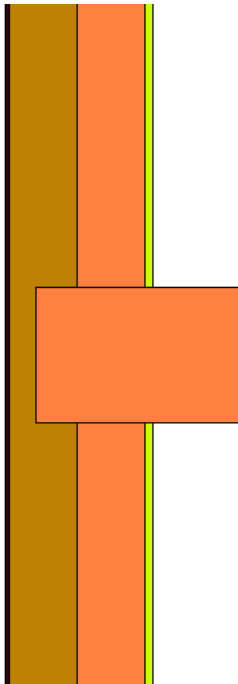
Figur 29 Eksisterende tømmervegg modellert i Therm 6



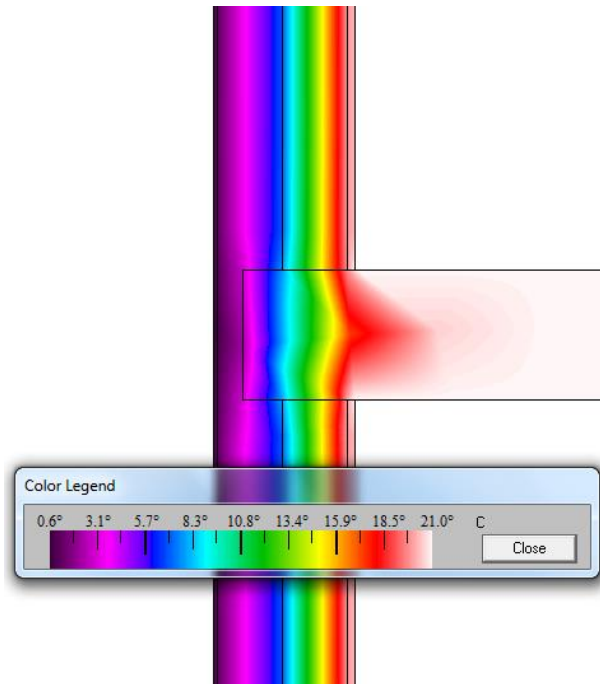
Figur 30 Temperaturfordeling eksisterende tømmervegg

## 7.2 Innvendig etterisolering

Innvendig etterisolering av tømmervegg vil vanligvis utføres som utføring med trestendere og isolering med mineralull. Det er ikke alltid ønskelig å kle inn en flott laftevegg, så dette tiltaket er mest aktuelt ved grovere laft, eventuelt maskinlaft, eller dersom veggen opprinnelig har vært med innvendig kledning. I modellen er det regnet med 100 mm mineralull, samt ny innvendig kledning av plateprodukt.



Figur 31 Tømmervegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6



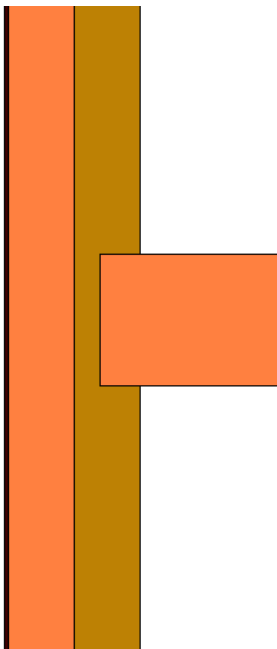
Figur 32 Temperaturfordeling i innvendig etterisolert tømmervegg



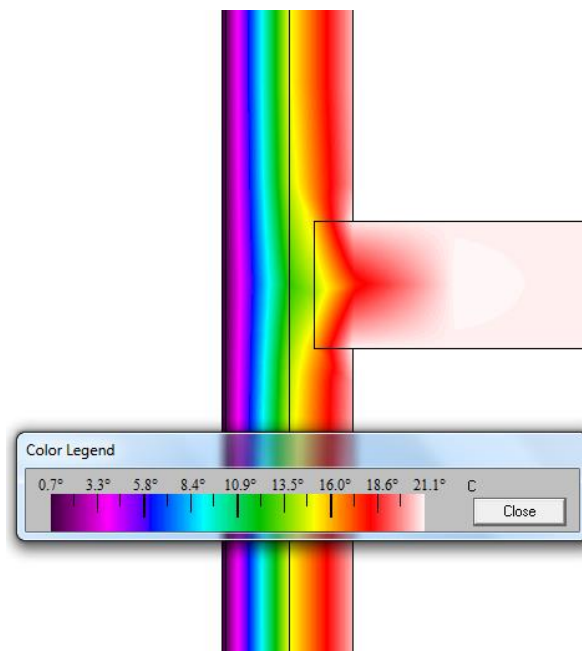
### 7.3 Utvendig etterisolering

Utvendig etterisolering av tømmervegg vil nesten utelukkende utføres som utforing isolert med mineralull kledd med ny vindsperre og utvendig kledning. Det er i modellen tatt utgangspunkt i en vegg der kledning allerede er foret ut, men hulrommet er uisolert. Ved etterisolering av en slik vegg er det naturlig å utnytte den eksisterende utforingen slik at veggtykkelsen øker minimalt. Dette gjør at elementer som takutstikk og vinduer i liten grad blir påvirket av tiltaket, og fasaden kan fremstå tilnærmet uendret.

I modellen er det lagt på 100 mm mineralull utvendig. I dette tilfellet må antakeligvis eksisterende utforing økes noe. Det er montert ny vindsperre, samt ny utlektet kledning.



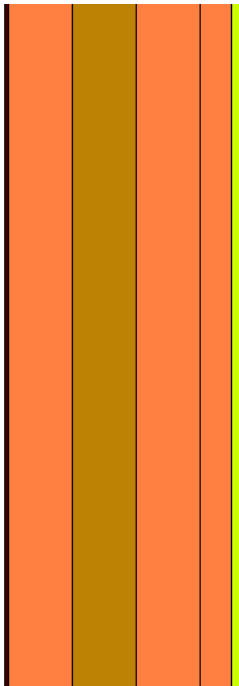
Figur 33 Tømmervegg utvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6



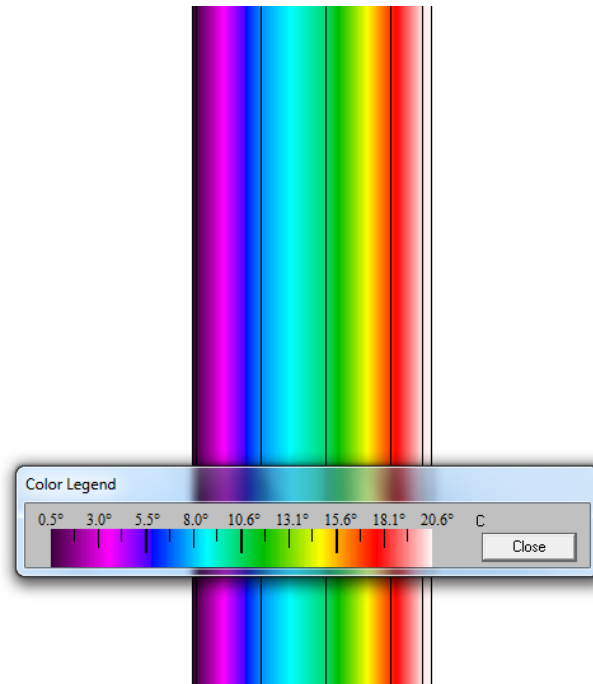
Figur 34 Temperaturfordeling i utvendig etterisolert tømmervegg

## 7.4 TEK10 og passivhusstandard

For å oppnå TEK10-nivå og passivhusstandard økes isolasjonstykkelsen fra de foregående tiltakene. Den totale isolasjonstykkelsen blir så stor at tiltaket bør fordeles på utvendig og innvendig etterisolering. Etter som den eksisterende utforingen av tømmerveggen er avgjørende for fasaden, er det valgt å begrense utvendig etterisolering til 100 mm. Resterende isolasjonstykkelse må derfor legges innvendig. For å oppnå TEK10-nivå er det lagt på henholdsvis 100 mm mineralull utvendig og 150 mm innvendig.

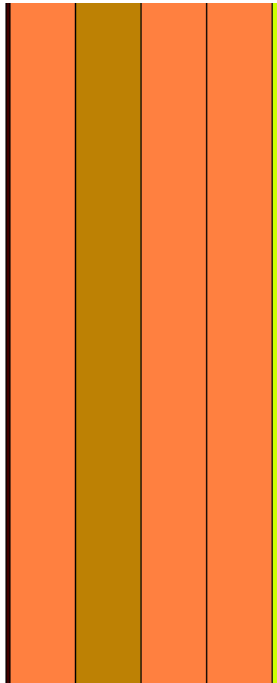


Figur 35 Tømmervegg etterisolert med mineralull, 100 mm utvendig og 150 mm innvendig

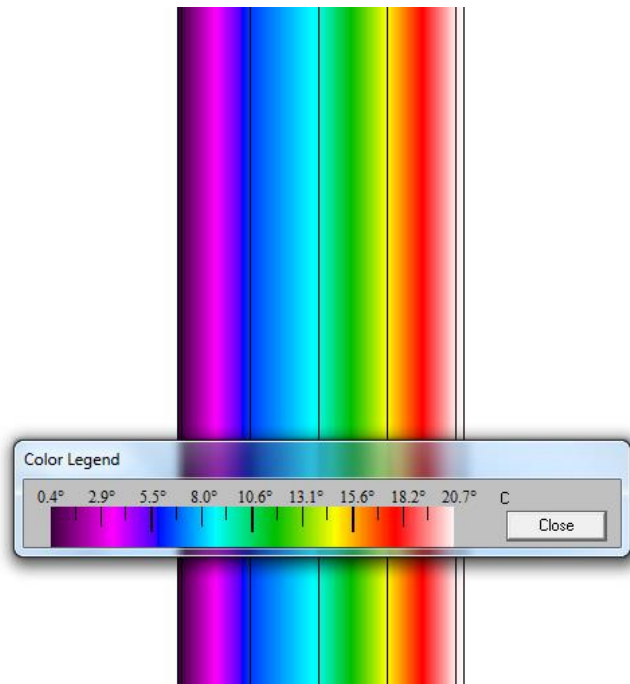


Figur 36 Temperaturfordeling tømmervegg etterisolert til TEK10-nivå

For å oppnå passivhusstandard økes isolasjonstykkelsen med ytterligere 50 mm, til totalt 200 mm innvendig og 100 mm utvendig.



**Figur 37** Tømmervegg etterisolert med mineralull, 100 mm utvendig og 200 mm innvendig

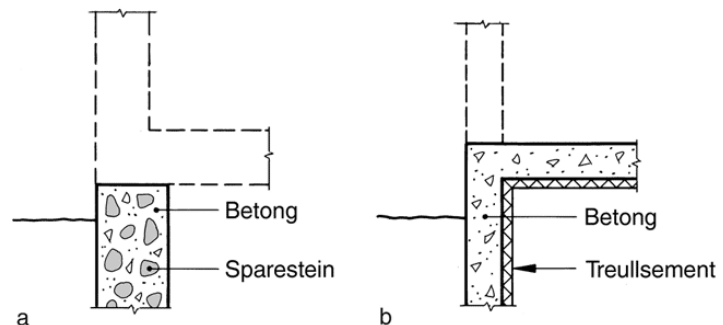


**Figur 38** Temperaturfordeling tømmervegg etterisolert til passivhusstandard

## 8 Betongvegg under terreng

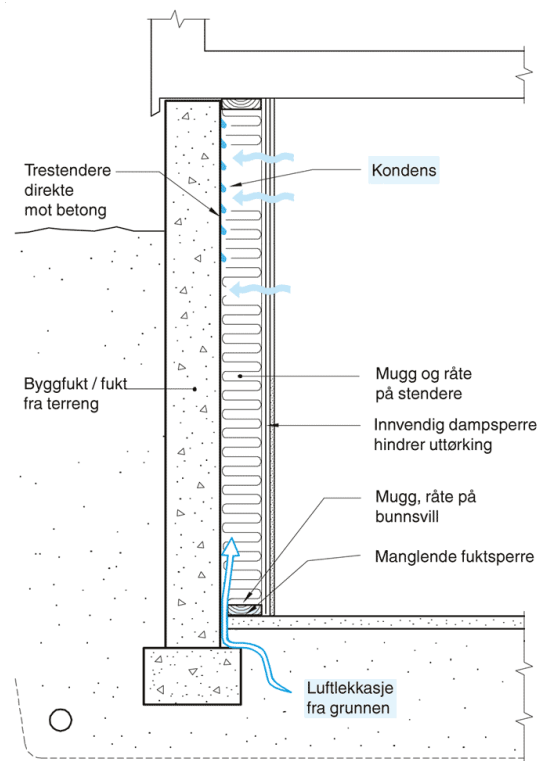
### 8.1 Typisk oppbygging

Kjellervegger under terreng kan ha flere forskjellige byggemåter og utforminger. De tidligste veggene var gjerne tørrmurte steinvegger i mindre jordkjellere. Dette ble videreført når mørtel ble vanlig byggemateriale, fra muring av behandlet eller ubehandlet naturstein, til murprodukter av tegl eller lettklinker. Etter tilgangen til, og kunnskapen om, betong som byggemateriale økte, har dette vært dominerende byggemåte. Dette er mye grunnet armert betongens evne til å stå i mot jordtrykket fra tilbakefylling inntil veggen. Fra 1900-tallet var støpte vegger med mye sparestein vanlig, mens det fra ca. 1930 ble bedre dimensjoneringsregler og mer bevisst utforming av grunnmurene.



Figur 39 To typer tidlige grunnmur av betong (Sintef, 721.111 Eldre bygningsfundamenter og grunnmurer. Metoder og materialer, 2006)

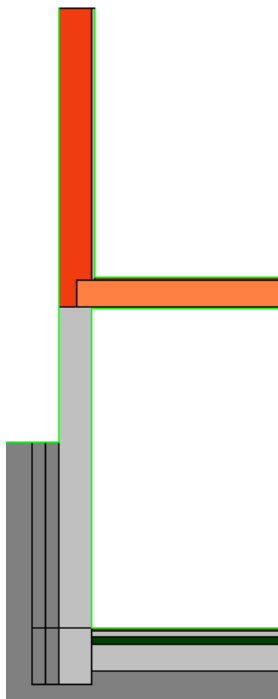
Betongvegger under terreng er ofte utsatt for feil utført etterisolering i forbindelse med ufaglært innredning av kjellerstue og andre oppholdsrom i kjeller. Som en konsekvens av dette sliter flere boliger med fuktproblemer og dårlig inneklima i innredede kjellere.



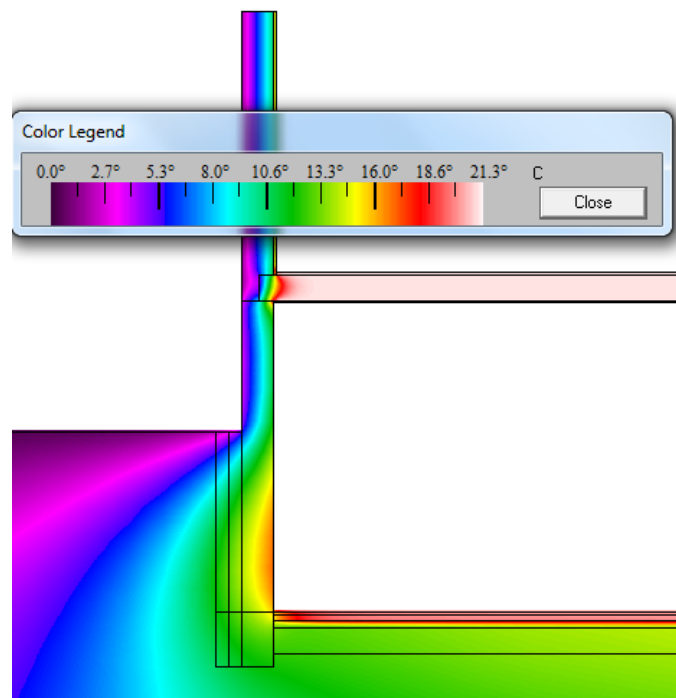
Figur 40 Oppfukningskilder innvendig isolert betongvegg (Sintef, 727.121 Fukt i kjellere. Årsaker og utbedring, 2006)

For å beregne varmetapet gjennom kuldebroen i overgang kjellervegg og kjellergulv er det tatt med hele konstruksjonen under terreng. Det er også tatt med etasjeskiller og vegg over terreng for å se om tiltak over terreng har innvirkning på kuldebroen.

Kjellerveggen kan være bygget på flere måter med tanke på fundamentering, isolasjonsmengde og – plassering, om vegg står på fast fjell eller løse masser, osv. Selve kjellerveggen er en 200 mm betongvegg, mens gulv på grunnen har 200 mm grovstøp, 50 mm EPS-isolasjon og 50 mm finstøp/ avretting. Kjellerveggen går rett ned uten noe labank eller utstikkende fundament og er uten eksisterende varmeisolasjon. Vegg over terreng er en uisolert teglsteinsvegg med bredde 300 mm. Etasjeskiller er trebjelkelag isolert med 200 mm mineralull. Terrengnivået er lagt 1,4 meter over gulv i kjeller, romhøyde i kjeller er 2,4 meter.



Figur 42 Eksisterende kjellervegg modellert i Therm 6

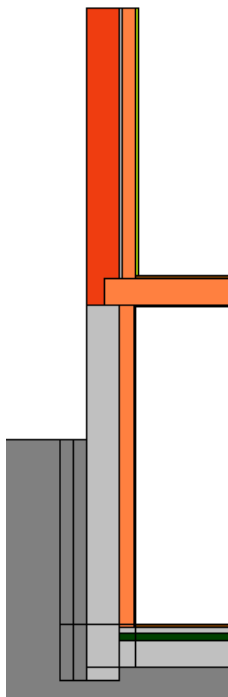


Figur 41 Temperatutfordeling eksisterende kjellervegg

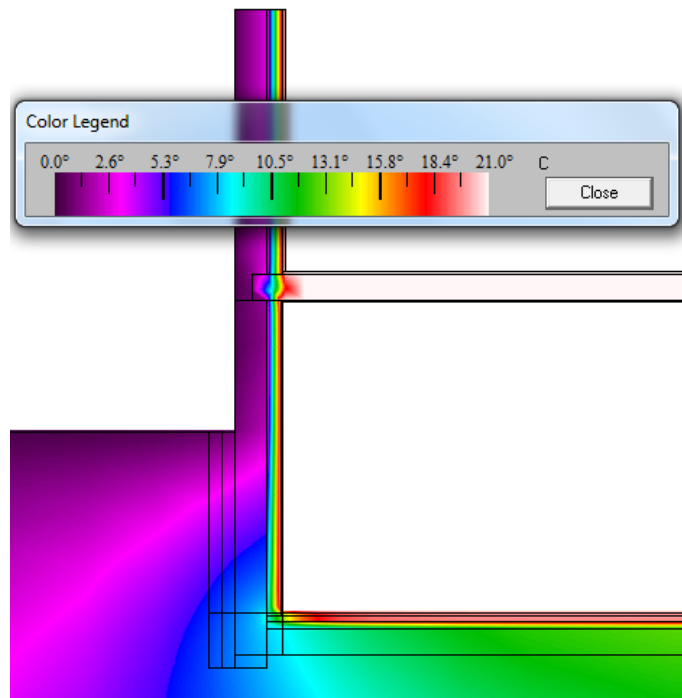
## 8.2 Innvendig etterisolering

Utelukkende innvendig etterisolering som tiltak gir som nevnt høy risiko for fuktproblemer i vegg. Innvendig etterisolering bør som regel kun utføres på allerede utvendig isolert vegg, eller som ekstratiltak sammen med utvendig etterisolering. Det kan likevel fungere som enkelttiltak dersom man har meget god drenering og kontroll på fuktforholdene i grunnen, og ved forsiktig bruk av diffusjonstette produkter.

Det er vurdert to situasjoner for innvendig etterisolering for å vurdere om det gir utslag på kuldebroen ved overgang kjellervegg/ kjellergulv. Et tilfelle hvor kun kjeller er etterisolert, og et tilfelle hvor det også er isolert i etasjen over. Begge veggene er foret ut med 100 mm mineralull og kledd med 13 mm gipsplate.



Figur 43 Kjellervegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6

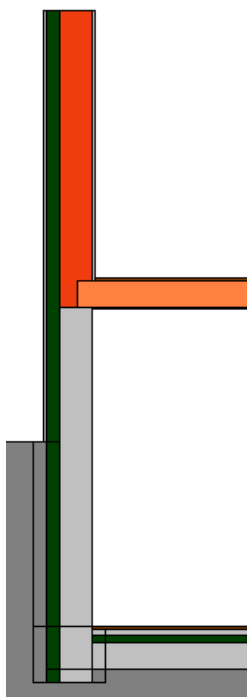


Figur 44 Temperaturfordeling innvendig etterisolert kjellervegg

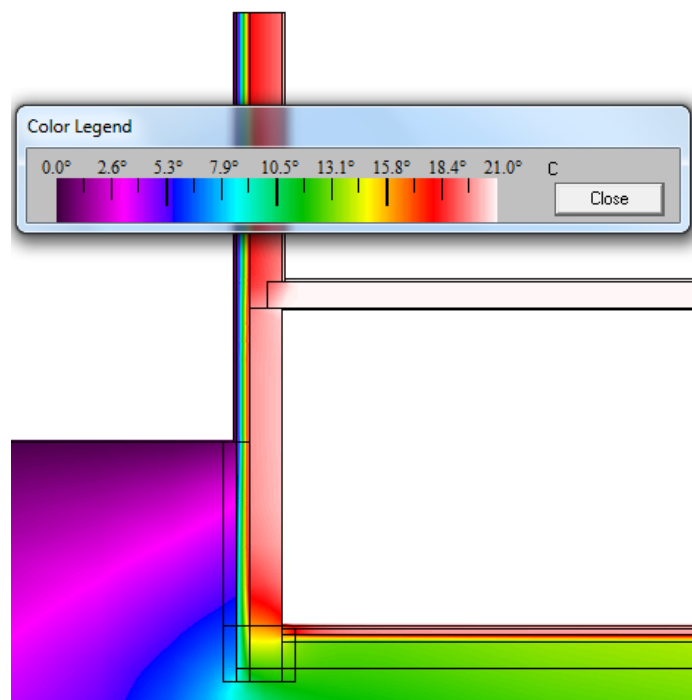
### 8.3 Utvendig etterisolering

Utvendig etterisolering av vegger under terreng er et relativt omfattende tiltak det det innebærer å grave vekk massene som ligger inntil veggen. Det er imidlertid den sikreste løsningen med hensyn til fuktsikkerheten til veggen, og nødvendig ved store isolasjonstykkelser. Vanlig metode for etterisolering er bruk av varmeisolasjon av polystyren, eventuell puss eller slemming og knotteplast som sperre for fukt fra grunnen.

Det er også her sett på to tiltak. Et tiltak hvor ytterveggen kun er isolert i høyde med terreng, og et tiltak hvor hele byggets fasade er isolert i tillegg. For begge tiltakene er det isolert med 100 mm EPS-isolasjon og pusset utvendig med murpuss over terreng.



Figur 45 Kjellervegg og fasade utvendig etterisolert med 100 mm EPS-isolasjon modellert i Therm 6

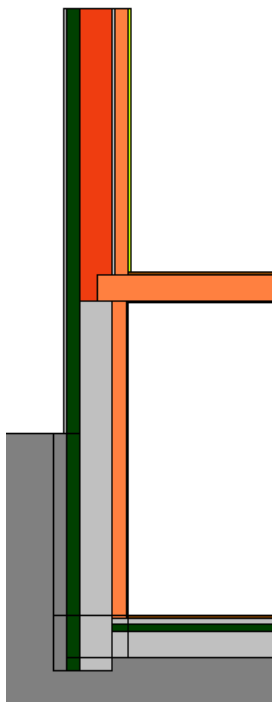


Figur 46 Temperaturfordeling utvendig etterisolert kjellervegg

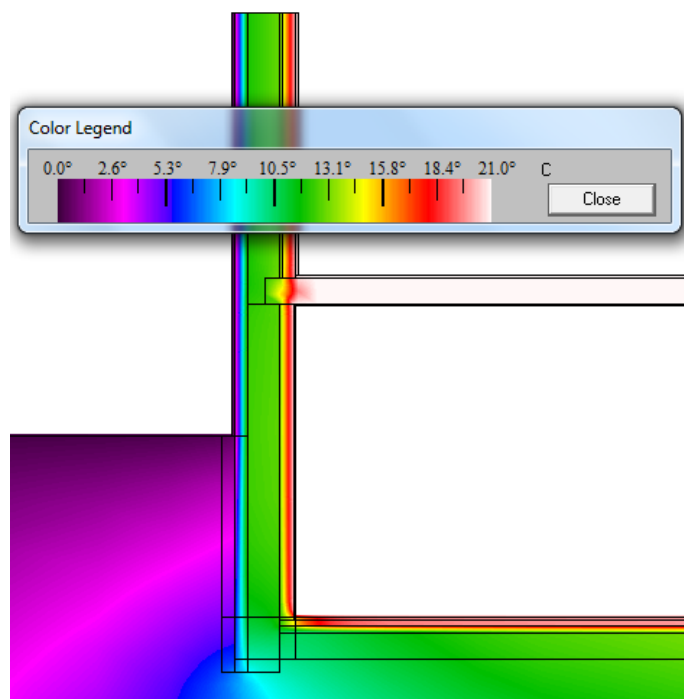
## 8.4 Kombinert innvendig og utvendig etterisolering

I stedet for å vurdere nødvendig tiltak for å oppnå TEK10-nivå og passivhusstandard er det for kjellerveggen vurdert et tiltak som kombinerer tiltakene med innvendig og utvendig etterisolering. Dette er for å vurdere virkningen de to tiltakene samlet har på kuldebroverdier.

Det vil si at veggen er etterisolert med 100 mm EPS utvendig og 100 mm mineralull innvendig, modellert i



Figur 47 Kjellervegg og fasade utvendig etterisolert med 100 mm EPS-isolasjon utvendig og 100 mm mineralull innvendig, modellert i Therm 6



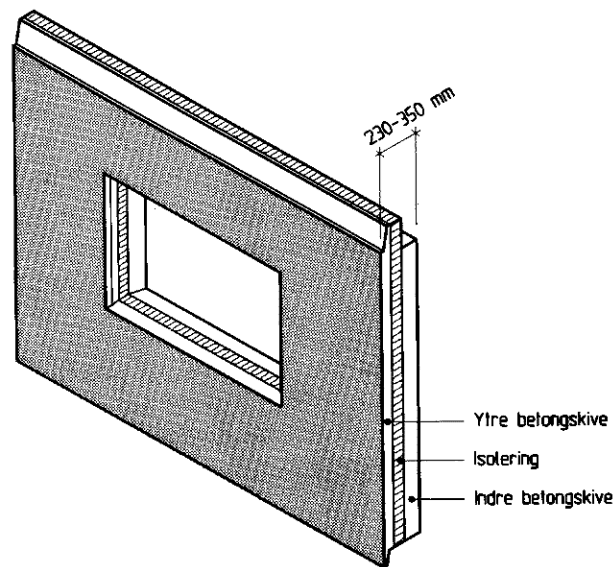
Figur 48 Temperaturfordeling i utvendig og innvendig etterisolert kjellervegg



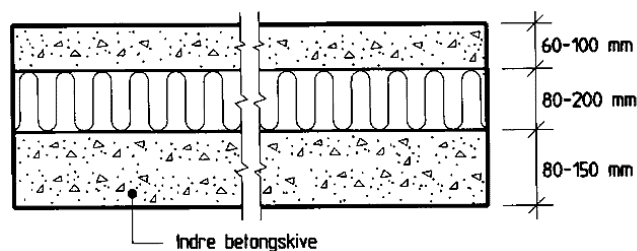
## 9 Sandwichelement

### 9.1 Typisk oppbygging

Sandwichelementer brukes både som fasadeelementer og bærende veggskiver i forskjellige typer bygg. Elementene består hovedsakelig av en indre og ytre betongskive, med mellomliggende varmeisolasjon av polystyren eller mineralull. For bærende fasadelementer er som regel den indre betongskiven bærende, og derfor den tykkeste. Skive- og isolasjonstykkelser varierer som angitt i figur.

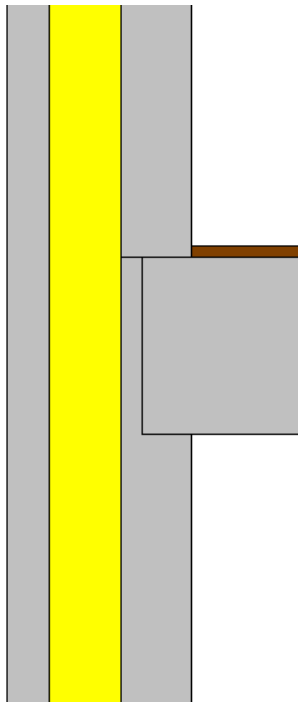


Figur 49 Snitt av sandwichelementvegg (Sintef, 523.611 Betongelementer i fasader, 1994)

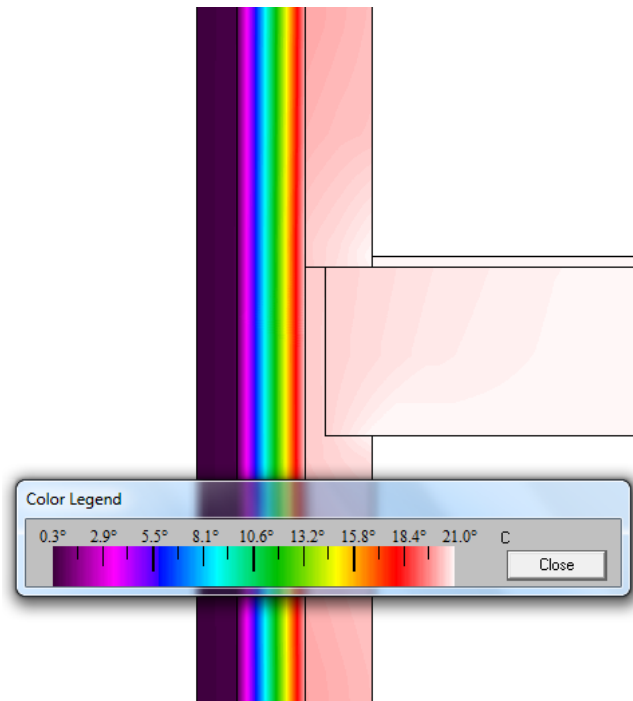


Figur 50 Typiske tykkelser for sjikt i sandwichelement (Sintef, 523.611 Betongelementer i fasader, 1994)

I modellen i Therm 6 er det lagt inn en sandwichkonstruksjon som har 60 mm ytre skive, 100 mm mineralullisolasjon og 100 mm indre skive. Etasjeskiller er 250 mm betongdekke. I praksis er det kun tykkelse på eksisterende og ekstra isolasjonslag som spiller rolle for veggens totale varmemotstand. Tykkelsen på veggskivene gir lite bidrag til varmemotstanden grunnet betongens høye varmekonduktivitet. Skivetykkelsen kan imidlertid gi utslag på kuldebroverdien da den bestemmer tilleggisolasjonens plassering.



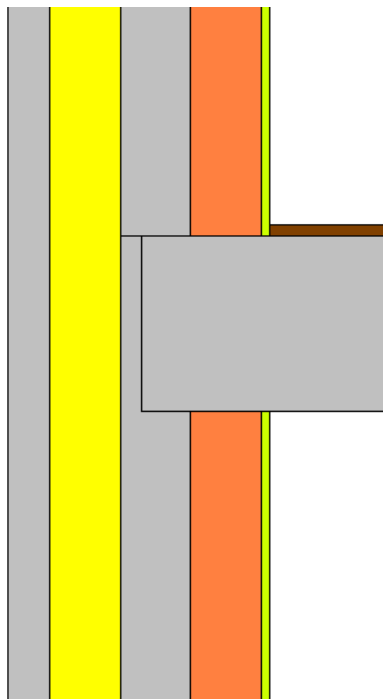
Figur 51 Eksisterende elementvegg modellert i Therm 6



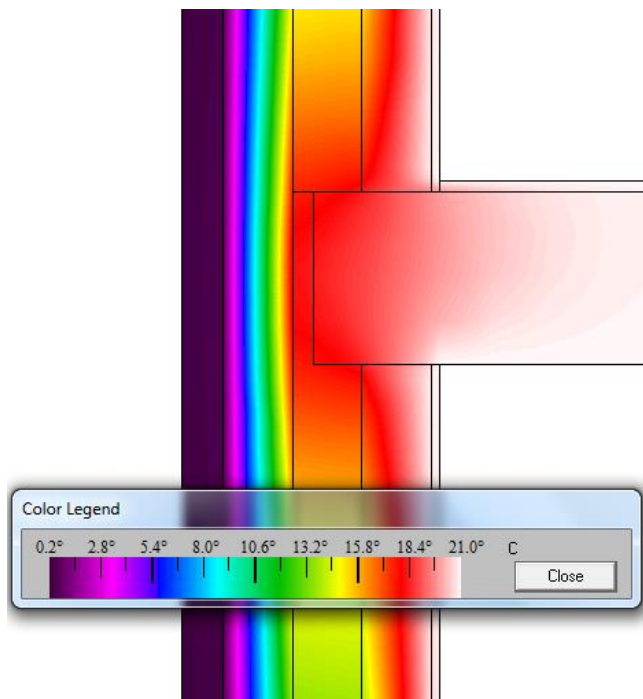
Figur 52 Temperaturfordeling eksisterende elementvegg

## 9.2 Innvendig etterisolering

Innvendig etterisolering utføres i hovedsak som isolert utføring med ny innvendig kledning. Alternativt kan fiberpussystemer med mineralull eller ekstrudert polystyren som varmeisolasjon benyttes. I Therm 6 er det modellert innvendig utføring isolert med 100 mm mineralull, kledd med 13 mm gipsplate.



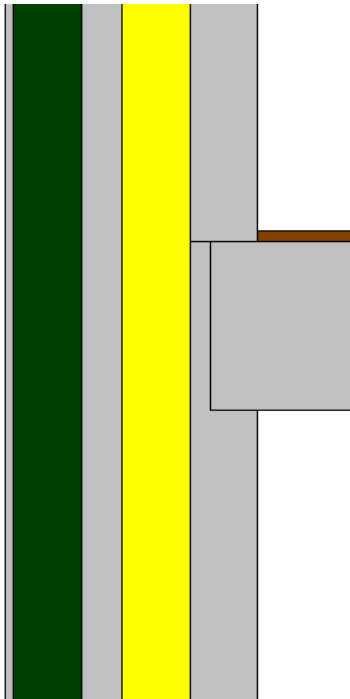
Figur 53 Elementvegg innvendig etterisolert med 100 mm mineralull modellert i Therm 6



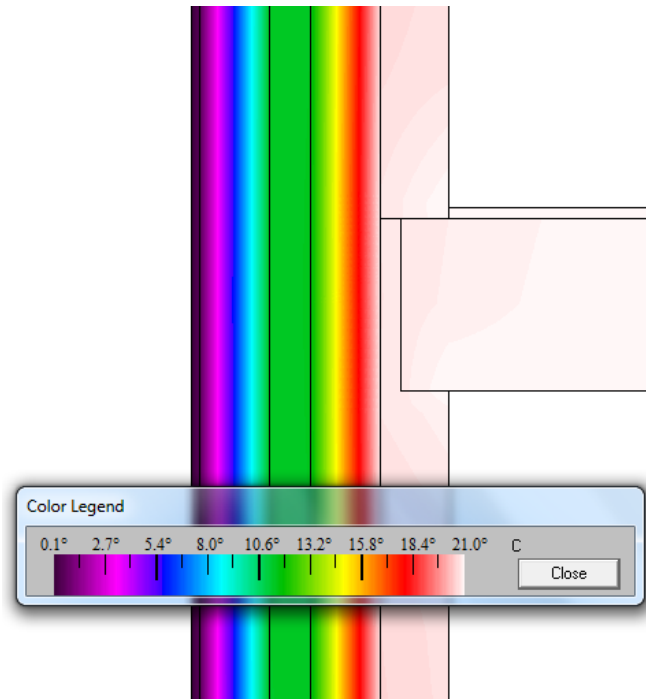
Figur 54 Temperaturfordeling innvendig etterisolert elementvegg

### 9.3 Utvendig etterisolering

Utvendig etterisolering av sandwichelement kan utføres som isolert trestendervegg med ulike typer luftet kledning eller teglsteinsforblending, eller polystyren eller mineralull med utvendig puss. I modellen er det valgt 100 mm ekstrudert polystyren pusset med fiberpuss eller lignende. Dette gir lavere varmekonduktivitet enn en stendervegg, og dermed høyere varmemotstand ved samme isolasjonstykkelse, eventuelt lavere nødvendig isolasjonstykkelse for å oppnå ønsket U-verdi.



Figur 55 Elementvegg utvendig etterisolert med 100 mm EPS modellert i Therm 6

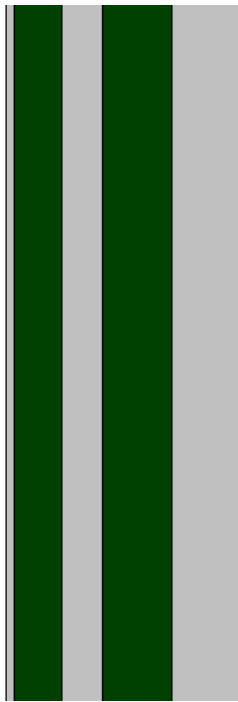


Figur 56 Temperaturfordeling utvendig etterisolert elementvegg

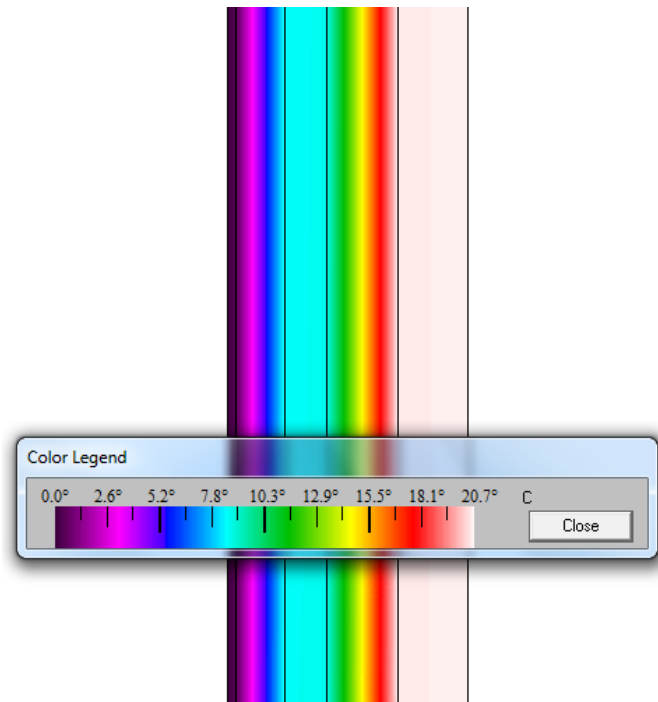
## 9.4 TEK10 og passivhusstandard

En sandwichelementvegg krever lavere isolasjonstykkelse for å oppnå TEK10- og passivhuskriteriene enn de andre veggtypene. Dette er på grunn av at veggen allerede har et isolasjonssjikt med lavere varmekonduktivitet enn for eksempel en bindingsverksvegg da det er betydelig lavere mengde ikke-isolasjonsmaterialer mellom skivene.

For å oppnå TEK10-nivå er det tilstrekkelig med 70 mm EPS-isolasjon utvendig.

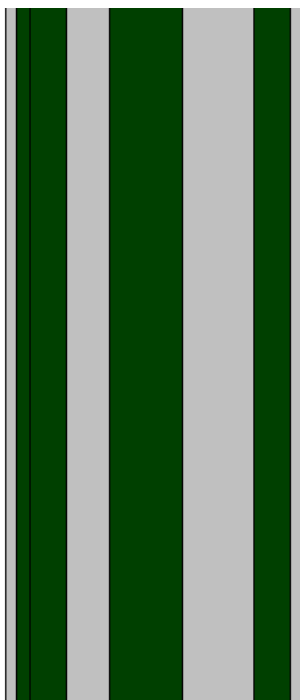


Figur 57 Elementvegg etterisolert med 70 mm EPS-isolasjon modellert i Therm 6

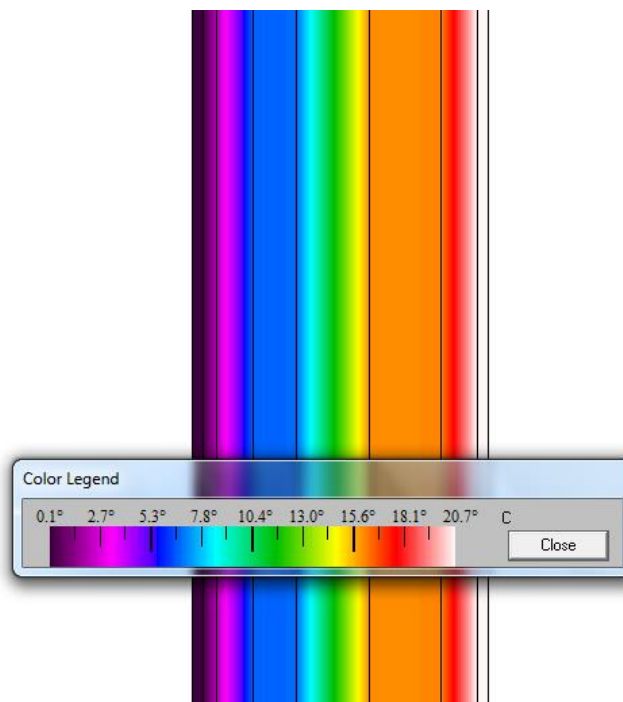


Figur 58 Temperaturfordeling elementvegg etterisolert til TEK10-nivå

For å tilfredsstille passivhuskriteriene kreves ytterligere 50 mm EPS-isolasjon sammenlignet med TEK10-nivå. I modellen er denne plassert innvendig for å få en fordeling av isolasjonstykkelsen, men den relativt lave ekstra tykkelsen gjør det uproblematisk å plassere all tilleggisolasjonen i samme sjikt. Dette er gunstigere om det i utgangspunktet kun skal utføres tiltak på en side av fasaden.



Figur 59 Elementvegg etterisolert med hhv 70 mm og 50 mm EPS-isolasjon utvendig og innvendig



Figur 60 Temperaturfordeling elementvegg etterisolert til passivhusstandard

## 10 Resultater og diskusjon

Her presenteres resultatene fra modelleringene i Therm 6. For hver veggtype er det i tabellene satt opp hvilke tiltak de ulike alternativene innebærer, beregnet U-verdi for ytterveggen og kuldebroverdi for etasjeskilleren. Selve utregningen er lagt ved som vedlegg 1. U-verdi er gitt i  $W/m^2K$  og Kuldebroverdi i  $W/mK$ . For tiltakene hvor mengde tilleggisolasjon er styrt av kravet til en gitt U-verdi er det fokusert på hensiktsmessig fordeling av isolasjonstykkelsen, både med tanke på utførelse/ byggbarhet og tilgjengelige isolasjonsprodukter på markedet.

Der tilleggisolasjonen er fordelt på både utvendig og innvendig etterisolering er utvendig tiltak nevnt først. For eksempel 100 mm EPS + 100 mm min. ull betyr da 100 mm EPS-isolasjon utvendig og 100 mm mineralull innvendig.

### 10.1 Teglsteinsvegg

Tabell 5 U-verdier og kuldebroverdier teglsteinsvegg

Tiltak	Tilleggisolasjon	U-verdi vegg	Kuldebroverdi
Eksisterende vegg	-	1,65	-3,06
Innvendig etterisolert	100 mm min. ull	0,39	0,06
Utvendig etterisolert	100 mm EPS	0,26	0,04
TEK10	100 mm EPS + 100 mm min. ull	0,179	-
Passivhus	150 mm EPS + 100 mm min. ull	0,140	-

Teglsteinsveggen er litt spesiell i og med at den har en kuldebro i form av trebjelkelag med mineralullisolasjon med betydelig lavere varmekonduktivitet enn veggen. Dette gir en kuldebroverdi på  $-3,06 W/mK$ , et redusert varmetap for konstruksjonen i motsetning til økt varmetap som vanligvis er tilfelle. En slik verdi bør brukes med forsiktighet ved beregning av bygningens varmetap. Både innvendig og utvendig etterisolering gir i dette tilfelle relativt lave kuldebroverdier. Ettersom etasjeskilleren har så lav varmekonduktivitet og den innvendige isolasjonen får god kontakt med tilsvarende materiale i etasjeskilleren, gir ikke utvendig etterisolering i dette tilfelle den ventende reduserte kuldebroen. Bruk av en dårligere etasjeskiller som et uisolert bjelkelag eller betongdekke hadde endret på dette. Vi ser også at utvendig etterisolering gir en betydelig lavere U-verdi ved samme isolasjonstykkelse som innvendig. Dette er delvis fordi den utvendige EPS-isolasjonen har lavere varmekonduktivitet enn mineralullen som er brukt innvendig, men i hovedsak skyldes det treverket i den innvendige utføringen.

## 10.2 Bindingsverksvegg

Tabell 6 U-verdier og kuldebroverdier bindingsverksvegg

Tiltak	Tilleggisolasjon	U-verdi vegg	Kuldebroverdi
Eksisterende vegg	-	0,40	0,28
Innvendig etterisolert	100 mm min. ull	0,22	0,29
Utvendig etterisolert	100 mm min. ull	0,22	0,12
TEK10	100 mm + 70 mm min. ull	0,177	-
Passivhus	150 mm + 100 mm min. ull	0,150	-

Selv om bindingsverksveggen sammenlignet med en del av de andre tiltakene hadde relativt lav U-verdi, gir 100 mm etterisolering tett på en halvering av U-verdien. Dette er nok til å tilfredsstille minstekravet i TEK10 om man beregner med energirammer, eller bruker omfordeling ved energitiltak. Kuldebroverdien øker noe ved innvendig etterisolering i forhold til eksisterende vegg. Dette er fordi varmetapet til veggens reduseres og det relative varmetapet gjennom kuldebroen øker. Her får vi den ventede effekten av utvendig etterisolering. Tiltaket sørger for et kontinuerlig gjennomgående isolasjonssjikt på utsiden av etasjeskilleren som stopper varmeledningen fra betongen. Kuldebroverdien er fortsatt relativt høy sammenlignet med andre kuldebroer. Selv om varmeledningen er brutt bygger fortsatt etasjeskilleren av betong nesten halvveis ut i tykkelsen av den nye veggen. En akseptabel kuldebro kan oppnås ved tykkere kuldebroer i eksisterende konstruksjon eller økt tykkelse på utvendig etterisolering.



### 10.3 Tømmervegg

Tabell 7 U-verdier og kuldebroverdier tømmervegg

Tiltak	Tilleggisolasjon	U-verdi vegg	Kuldebroverdi
Eksisterende vegg	-	0,88	0,14
Innvendig etterisolert	100 mm min. ull	0,32	0,06
Utvendig etterisolert	100 mm min. ull	0,30	0,05
TEK10	100 mm + 150 mm min. ull	0,170	-
Passivhus	100 mm + 200 mm min. ull	0,146	-

Eksisterende tømmervegg har relativt lav tykkelse av et materiale med relativt høy varmekonduktivitet. Dette gir en høy U-verdi før tiltak. Kuldebroverdien er imidlertid lav, da varmekonduktiviteten til etasjeskilleren er lav. 100 mm etterisolering reduserer U-verdien betydelig, men er fortsatt et stykke unna forskriftskravet. Forskjellen i U-verdi ved innvendig og utvendig etterisolering kan delvis tilskrives høyere varmemotstand for asfaltplater brukt ved utvendig tiltak enn for gipsplater brukt ved innvendig tiltak. For å oppnå TEK10-nivå og passivhusstandard kreves høyere isolasjonstykkelser enn for både teglstein og bindingsverk. Dette illustrerer ytterligere forskjellen i varmemotstand mellom EPS-isolasjon brukt utvendig på teglsteinsvegg og sammensatt sjikt av mineralull og trestendere brukt på tømmerveggen. Det skiller lite i kuldebroverdi ved innvendig og utvendig etterisolering da varmekonduktiviteten til etasjeskilleren er relativt lik den til resten av konstruksjonen.

## 10.4 Betongvegg under terreng

Merk at kuldebroverdier det er snakk om her er overgang kjellergulv/ kjellervegg, ikke yttervegg/ etasjeskiller som for de andre veggene.

Tabell 8 U-verdier og kuldebroverdier betongvegg under terreng

Tiltak	Tilleggisolasjon	U-verdi vegg	Kuldebroverdi
Eksisterende vegg	-	2,54	0,11
Innvendig etterisolert, kun kjeller	100 mm mineralull	0,40	0,09
Innvendig etterisolert, kjeller og 1. etg	100 mm mineralull	0,40	0,17
Utvendig etterisolert, kun under terreng	100 mm EPS	2,02	0,20
Utvendig etterisolert, kjeller og fasade	100 mm EPS	0,40	0,27
Innvendig og utvendig etterisolert hele	100 mm EPS + 100 mm mineralull	0,20	0,12

Betongveggen har naturligvis meget høy U-verdi i opprinnelig tilstand, til tross for en viss varmemotstand fra grunnen. Innvendig og utvendig etterisolering gir samme U-verdi ved isolering av hele fasaden. Utvendig isolering kun opp til bakkenivå gir som forventet dårlig effekt. Varmetapet er fortsatt stort gjennom den uisolerte betongveggen over bakkenivå. Det vil naturligvis variere med høyde på terreng. Går terrenget opp til etasjeskilleren er dette en ok løsning. Kun å etterisolere opp til etasjeskiller med terrengnivå der det er lagt i modellen er imidlertid en ugunstig løsning. Både fordi man får en stor kuldebro ved etasjeskilleren, og den brå avslutningen ca. 1 meter over bakkenivå gir en uheldig løsning både estetisk og med tanke på fysisk avslutning og innfesting mot vegg.

Hvilke tiltak som er gjennomført har en viss innvirkning på kuldebroverdier. Både for utvendig og innvendig etterisolering er det høyere kuldebroverdi dersom vegg isoleres helt opp. Utvendig etterisolering gir også høyere kuldebroverdi enn innvendig etterisolering. Dette har med utformingen av fundamentet å gjøre. Selv om utvendig etterisolering går forbi gulvkonstruksjonen, går også den brede betongveggen forbi gulvkonstruksjon og gir høy varmeledning ned til grunnen. Ved innvendig etterisolering reduseres varmetapet via betongveggen, da det i hovedsak er finstøpen på gulvet som kan lede varme ut til betongveggen, og ikke hele veggens lengde. For å få til en god kuldebro i en slik overgang må dette tas hensyn til ved bygging.

## 10.5 Sandwichelement

Tabell 9 U-verdier og kuldebroverdier sandwichelement

Tiltak	Tilleggisolasjon	U-verdi vegg	Kuldebroverdi
Eksisterende vegg	-	0,32	0,18
Innvendig etterisolert	100 mm EPS	0,16	0,35
Utvendig etterisolert	100 mm EPS	0,15	0,08
TEK10	70 mm EPS	0,175	-
Passivhus	70 mm + 50mm EPS	0,140	-

Eksisterende elementvegg har relativt lav U-verdi med tanke på den har bare 100 mm isolasjon. EPS med lav varmekonduktivitet sørger for dette. Av samme grunn oppnås også lave U-verdier ved 100 mm etterisolering enten innvendig eller utvendig. U-verdien blir her så lav at den allerede er under forskriftskravet i TEK10. For å tilfredsstille kravet på 0,18 W/m<sup>2</sup>K er det tilstrekkelig med 70 mm EPS utenpå ytre betongskive. For å oppnå passivhusstandard kreves det ytterligere 50 mm EPS. I modellen er denne plassert innvendig. Resultatene her viser tydelig forskjell i kuldebroverdi for innvendig og utvendig tiltak. Ved kun innvendig tiltak blir kuldebroverdien vesentlig dårligere enn for eksisterende vegg. I eksisterende vegg er det allerede en god kuldebro bryter da hele det opprinnelige isolasjonssjiktet ligger utenpå etasjeskilleren. Når veggen etterisoleres innvendig økes veggens varmemotstand, men nå er det kun halvparten av det totale isolasjonssjiktet som bryter kuldebroen. Derfor øker kuldebroverdien. Ved utvendig etterisolering bryter begge sjiktene kuldebroen og det oppnås en akseptabel kuldebroverdi til å være en konstruksjon med etasjeskiller av betong.

## 11 Konklusjon

Alle veggtypene har god effekt av etterisoleringstiltakene. Enten veggen delvis er isolert fra før eller opprinnelig helt uisolert, reduseres U-verdien betydelig uansett hvilket tiltak som velges. For alle veggtypene er det også mulig å oppnå forskriftskravene i TEK10 og passivhusstandarden med fullt gjennomførbare tiltak, særlig om tiltakene fordeles på utvendig og innvendig. Den høyeste ekstra isolasjonstykkelsen brukt er 300 mm mineralull, fordelt på 100 mm utvendig og 200 mm innvendig av en tømmervegg.

Valget mellom innvendig og utvendig etterisolering spiller neglisjerbar rolle for veggens U-verdi, gitt samme isolasjonstykkelse og –materiale. For noen tiltak betyr valg av utvendig etterisolering bruk av materialsjikt med lavere varmekonduktivitet enn ved innvendig etterisolering. Dette betyr at disse veggene oppnår en lavere U-verdi ved samme tykkelse. I tillegg vil utvendig etterisolering som regel være gunstig for kuldebroverdien ved overgang mellom vegg og etasjeskiller. Det varmeisolerende sjiktet går uavbrutt fordi etasjeskilleren som i opprinnelig vegg kan ligge langt ut i veggen, og reduserer den ekstra varmeledningen kuldebroen tilfører veggen. Ved enkelte tilfeller gir innvendig etterisolering en lavere kuldebroverdi da overflatearealet av materialer som er koblet mellom inneluft og kuldebro reduseres.

Valget om hvilket tiltak som bør gjennomføres bør treffes på en samlet vurdering av hensyn til fasade, innvendig gulvareal, størrelse, plassering og innvirkning av eventuelle kuldebroer og tekniske løsninger/gjennomførbarhet av tiltaket.

## Referanseliste

- (2007). *NS3031 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. Norsk Standard.
- (2010). *NS3700 Kriterier for passivhus og lavenergihus - Boligbygninger*. Norsk Standard.
- Geving, S., & Thue, J. V. (2002). *Fukt i bygninger*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- Hauge, G. (2012, 05 11). *Lavenergiprogrammet*. Hentet 06 05, 2013 fra <http://www.lavenergiprogrammet.no/nyheter-fra-lavenergiprogrammet/passivhus-som-forskriftskrav-i-2015-article1879-122.html>
- McKinsey & Company. (2009). *Pathways to a low carbon economy*.
- Sintef. (1994). *523.611 Betongelementer i fasader*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (1998). *471.008 Beregning av U-verdi etter NS-EN ISO 6946*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (1999). *720.015 Utbedring av kuldebroer*. Trondheim: Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2003). *471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2003). *723.312 Etterisolering av betong- og murvegger*. Trondheim: Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2004). *723.511 Etterisolering av yttervegger av tre*. Trondheim: Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2006). *523.291 Laftede vegger*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2006). *721.111 Eldre bygningsfundamenter og grunnmurer. Metoder og materialer*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2006). *727.121 Fukt i kjellere. Årsaker og utbedring*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2007). *523.221 Murte yttervegger. Forband, byggemål og modulprosjektering*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2007). *723.304 Eldre laftede vegger. Metoder og materialer*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Sintef. (2009). *723.235 Murte fasader. Skader og utbedringsalternativer*. Sintef Byggforsk Kunnskapssystemer.
- Statens bygningstekniske etat. (2010). *Byggteknisk forskrift – TEK 10*. Kommunal- og regionaldepartementet.

## U-verdier og kuldebroer fra Therm

Vegstype	Hele konstruksjonen [W/m <sup>2</sup> K]	Lengde [m]	Vegg1 (U-verdi) [W/m <sup>2</sup> K]	Vegg2 (U-verdi) [W/m <sup>2</sup> K]	Lengde1 [m]	Lengde2 [m]	Kuldebro
Bindingsverk uisolert	0,4502	4,2	0,4031	0,4031	2	2	0,27844
Bindingsverk innvendig	0,2821	4,2	0,2244	0,2244	2	2	0,28722
Bindingsverk utvendig	0,2407	4,2	0,2236	0,2236	2	2	0,11654
Tømmervegg uisolert	0,8729	4,2	0,8827	0,8827	2	2	0,13538
Tømmervegg innvendig	0,3208	4,2	0,3218	0,3218	2	2	0,06016
Tømmervegg utvendig	0,305	4,2	0,3067	0,3067	2	2	0,0542
Sandwich uisolert	0,3421	4,25	0,3182	0,3182	2	2	0,181125
Sandwich innvendig	0,2387	4,25	0,1651	0,1651	2	2	0,354075
Sandwich utvendig	0,1621	4,25	0,1523	0,1523	2	2	0,079725
Murvegg uisolert	0,8378	4,2	1,6458	1,6458	2	2	-3,06444
Murvegg innvendig	0,3829	4,2	0,3872	0,3872	2	2	0,05938
Murvegg utvendig	0,2565	4,2	0,2604	0,2604	2	2	0,0357

Vegstype	U-verdi Tek10	Isolasjon	U-verdi Passivhus	Isolasjon
Bindingsverk	0,177	170 ekstra	0,15	250 ekstra
Tømmervegg	0,17	100 ute 150 inne	0,146	100 ute 200 inne
Sandwich	0,1746	70 ute	0,14	70 ute 50 inne
Murvegg	0,179	100 ute 100 inne	0,14	150 ute 100 inne

## Tiltak

## Varmetap

	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/mK]
<b>Uisolert</b>					
	Vertikal flate	Lengde	Horisontal flate	Lengde	
Med konduktivitet	2,3519	3,22	0,1287	25	10,790618
					-
Null konduktivitet	2,3515	3,22	0,1242	25	10,67683
<b>Kuldebroverdi</b>				=	0,113788

	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/mK]
<b>Innvendig kun kjeller</b>					
	Vertikal flate	Lengde	Horisontal flate	Lengde	
Med konduktivitet	1,1917	3,22	0,056	25	5,237274
					-
Null konduktivitet	1,1856	3,22	0,053	25	5,142632
<b>Kuldebroverdi</b>				=	0,094642

	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/mK]
<b>Innvendig kjeller og 1.etg</b>					
	Vertikal flate	Lengde	Horisontal flate	Lengde	
Med konduktivitet	0,4447	3,22	0,0586	25	2,896934
					-
Null konduktivitet	0,4379	3,22	0,0526	25	2,725038
<b>Kuldebroverdi</b>				=	0,171896

	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/mK]
<b>Utvendig under bakken</b>					
	Vertikal flate	Lengde	Horisontal flate	Lengde	
Med konduktivitet	2,407	3,22	0,0622	25	9,30554
					-
Null konduktivitet	2,3766	3,22	0,058	25	9,102652
<b>Kuldebroverdi</b>				=	0,202888

	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/mK]
<b>Utvendig over bakken</b>					
	Vertikal flate	Lengde	Horisontal flate	Lengde	
Med konduktivitet	0,2652	3,22	0,0622	24,87	2,400858
					-
Null konduktivitet	0,2648	3,22	0,0512	24,87	2,126
<b>Kuldebroverdi</b>				=	0,274858

	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m]	[W/mK]
<b>Utvendig og innvendig</b>					
	Vertikal flate	Lengde	Horisontal flate	Lengde	
Med konduktivitet	0,1878	3,22	0,0496	24,87	1,838268
					-
Null konduktivitet	0,189	3,22	0,0445	24,87	1,715295
<b>Kuldebroverdi</b>				=	0,122973