

# Krav til normaliserte kuldebruverdiar for småhus

**Liv Højord Svare**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2015

Hovedveileidar: Tore Kvande, BAT

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet  
Institutt for bygg, anlegg og transport





Oppgåva sin tittel: Krav til normaliserte kuldebruverdiar for småhus	Dato: 08.06.2015		
	Antall sider (inkl. bilag): 126		
	Masteroppgåve	X	Prosjektoppgåve
Namn: Liv Høijord Svare			
Faglærer/veglear: Tore Kvande			
Eventuelle eksterne faglege kontaktar/veglearar: Lars Myhre, Boligprodusentenes Forening			

<p>Ekstrakt:</p> <p>I ei tid der det er fokus på å redusere energibruk vil fyrste tiltak for bygningar vere å <i>redusere</i> varmetap, og dermed redusere behov for energi. Kuldebruer er ein av faktorane som bidreg til uynskt varmetap. Krav er sett for å avgrense dette tapet i byggtknisk forskrift, TEK10, og passivhusstandarden for bustadar, NS 3700:2013. Kravet til normalisert kuldebruverdi er <math>\Psi'' \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}</math>. Utgangspunktet for denne oppgåva er dagens diskusjon om dette kravet er realistisk.</p> <p>Hovudmålet er å vurdere kva som er realistisk krav til kuldebruer i den norske standarden er for småhus, og om det er meir eigna metodar å vurdere kravet på. For å gjere dette er det utført kuldebrurekneskap for fire eksempel bustadar frå Norgeshus. Bustadane har same byggjesystem, men ulik utforming når det gjeld mengde etasjar og kompaktheit. Intensjonen er å sjå kor mykje den normaliserte kuldebruverdien endrar seg når bygningskroppen og det oppvarma bruksarealet varierer. Byggjesystemet er optimalisert for å oppnå låge kuldebruverdiar og dette har vore ein omfattande, men nødvendig jobb.</p> <p>Resultatet for dei fire bustadane er ein utrekna normalisert kuldebruverdi mellom 0,033 og 0,056 <math>\text{W/m}^2\text{K}</math> (ekskludert kuldebrutap frå skorstein). Ved å runda av til to gjeldande siffer kjem to av bustdane innanfor kravet, medan dei to andre er langt utanfor. Oppvarma bruksareal viser seg å vere avgjerande for dei utrekna verdiane, og ved å variere denne faktoren for to av bustadane vert dette tydeleg stadfesta. Det geometriske bidraget er med å legg avgrensingar for tilgjengeleg forbettringspotensiale, og det viser seg at det er vanskeleg å skulle forbetre det valde byggjesystemet ytterlegare.</p> <p>Kuldebruene påverkar andre forhold i ein bustad, til dømes energibudsjetten og risiko for fukt. Etter å ha undersøkt desse to forholda kjem det fram at energibehov og –forbruk ser ut til å vere meir påverka av areal/utforming enn sjølve kuldebrutap. Det er ingen reel risiko for fukt i form av muggvekst og kondens.</p> <p>Alternative vurderingsmetodar for krav til kuldebrutap vart diskutert. Dette omfatta fjerning eller heving av minstekrav, justering av minstekrav i samsvar med oppvarma bruksareal eller å ha kravsverdi til kuldebruverdiane i staden for til normalisert kuldebruverdi. Den endelege anbefalinga inneber å fjerne minstekrav og heller innføre krav/typiske verdiar til kuldebruverdiane. Krav til varmetapstal bør behaldast, for å kunne regulere det totale varmetapet frå kuldebruene.</p>
---

Stikkord:

1. Kuldebru
2. Normalisert kuldebruverdi
3. Passivhus
4. Energibruk

*Liv Høijord Svare*  
Liv Høijord Svare



## FØREORD

---

Denne masteroppgåva er eit resultat av arbeidet som er utført før fem år som student ved Bygg- og miljøteknikk ved NTNU avsluttast. Oppgåva høyrer til faget «TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgåve» og går føre seg i 10. semester ved studiet.

Oppgåva omfattar definering og kalkulering av normaliserte og normaliserte, geometriske kuldebruverdiar i fire bustadar prosjektert som passivhus. Strenge krav til normalisert kuldebruverdi er gjeve i dagens passivhusstandard. Målet er å avgjere kva som er realistiske verdiar for den normaliserte kuldebruverdien, og vurdere om det er meir eigna metodar for å vurdere kravsnivået. Bakgrunn for oppgåva er den pågåande diskusjonen om kor realistiske dagens krav i TEK10 og NS 3700:2013 er. I denne prosessen har det vore sentralt å sjå på utforming av bygningsdetaljar, og kva utfordringar dette inneber.

Eit forstudie i form av prosjektoppgåve vart gjennomført hausten 2014. Dette innebar ein læringsprosess både innan kuldebruuer og oppgåveskriving. Desse erfaringane har kome til nytte denne våren, og spesielt vore til stor hjelp ved behandling av mykje data.

Det har vore særst lærerikt og spennande å halde fram arbeidet med kuldebruuer, og arbeidet har gått føre seg jamt over semesteret. Underteikna merker at ho vert meir engasjert i temaet desto meir ho fordjupar seg i det. No ser ho fram til å kunne arbeide enda meir praktisk med emnet når ho, etter ein velfortent ferie, byrjar som bygningsfysikar.

Det rettast ein stor takk til vegleiar Tore Kvande som har teke seg tid til å svare på alle spørsmål og kome med rettleiing undervegs. Lars Myhre kom dessverre litt seint inn i biletet, men attendemelding frå han redda oppgåva frå å verte levert med ein metodefeil. Dette er eg særst takknemleg for. Lars Gullbrekken fortener ein takk for å ha hjulpet med programmet THERM og elles spørsmål kring utrekning av kuldebruuer. Siste takk til Kim Rune Jensen og Martine Firing som har korrekturlese mykje av oppgåva, og elles bidrege med gode innspel når ting har stått fast.

Trondheim, juni 2015

*Liv Høijord Svare*

---

Liv Høijord Svare



## SAMANDRAG

---

I ei tid med fokus på å redusere energibruk vil fyrste tiltak for bygningar vere å redusere varmetapet og dermed redusere behovet for energi. Kuldebruer bidreg til uynskt varmetap, og krav er sett i TEK10 og NS 3700:2013 for å avgrense dette tapet. Utgangspunktet for denne oppgåva er dagens diskusjon om desse krava er realistiske, og føremålet er å få eit betre grunnlag for problemstillinga: «*Krav til normalisert kuldebruverdi – Kva er realistiske verdiar og korleis bør det vurderast?*»

Geometrisk underlag til å utføre kuldebrurekneskapane er henta frå fire kataloghus frå Norgeshus. Eksempelbustadane har ulik bygningsutforming og mengde etasjar. Dette er ein av føresetnadane for å skape eit diskusjonsgrunnlag som dekkjer ein variasjon av småhus. Ein av dei er eksempelbustaden nytta i forprosjektet til denne masteroppgåva, Demohuset/Asplund. Fyrste steget var å optimalisere byggjesystemet, og det har vore fokus på heilskapleg samansetting av bygningsdetaljane. Vald byggjesystem vart nytta for alle eksempelbustadane. Dette var ein krevjande prosess, der målet var å få Asplund innanfor kravet til passivhusstandarden for bustadar,  $\Psi'' \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette gjekk akkurat, og kuldebrurekneskap vart sett opp for dei andre bustadane. Oppsummering av bygningsutforming og utrekna verdiar for småhusa er samla opp i Tabell 0-1. Bygningsutforming og mengde etasjar er òg inkludert sidan desse faktorane påverkar den utrekna verdien.

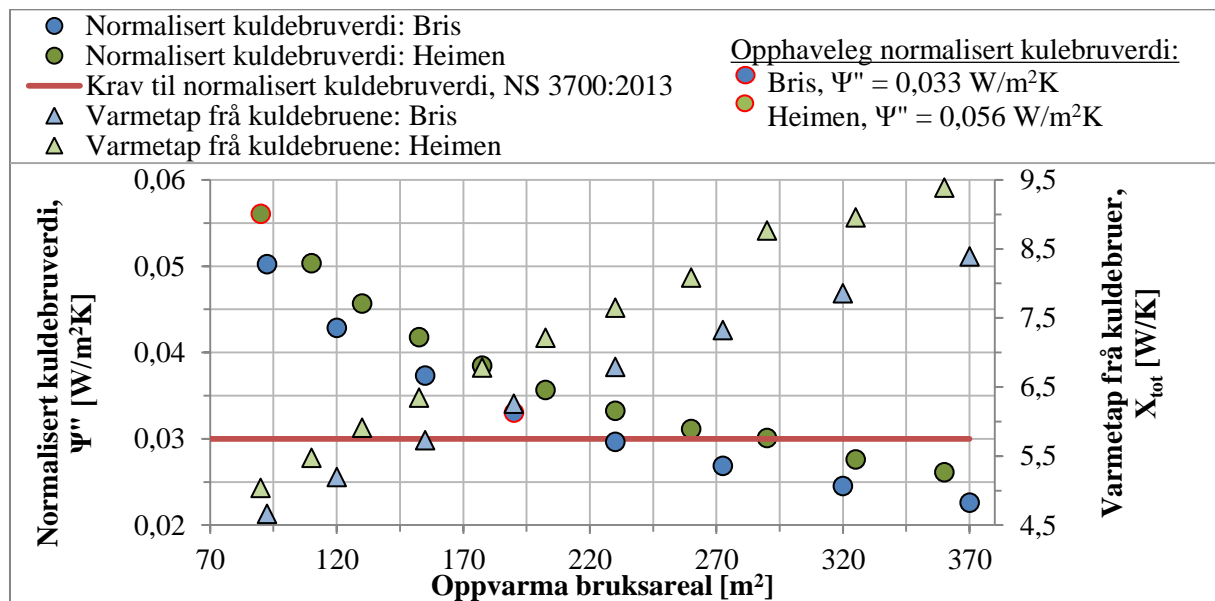
Tabell 0-1. Oppsummering av normalisert og normalisert, geometriske kuldebruverdi.

Eksempelbustad	Asplund	Bris	Heia	Heimen
Oppvarma bruksareal [ $\text{m}^2$ ]	166,6	189,4	143	89,9
Mengde etasjar [stk.]	2	2	1	1
Kompakt bygningskropp?	Nei	Ja	Nei	Ja
Normalisert kuldebruverdi, $\Psi''$ [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	0,034	0,033	0,044	0,056
Normalisert, geometriske kuldebruverdi, $\Psi''_{geo}$ [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	0,008	0,009	0,010	0,016
Krav i NS 3700:2013	$\Psi'' \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$			

Det er med andre ord stor variasjon i utrekna normalisert kuldebruverdi, og det vart klart at dette skuldast skilnadar i oppvarma bruksareal og ulik bygningsutforming. Asplund og Bris kjem akkurat innanfor kravet, med den føresetnaden at ein vurderer krav til normalisert kuldebruverdi med berre to desimalar. Den normaliserte, geometriske kuldebruverdien held seg relativt stabil, vertfall for dei bustadane med oppvarma bruksareal større enn  $100 \text{ m}^2$ .

For å sjå kor mykje oppvarma bruksareal påverkar den normaliserte kuldebruverdien, er det rekna ut fleire verdiar for Bris og Heimen der omkrinsar og areal er endra, sjå Figur 0-1. Her kjem det tydeleg fram kor stor rolle arealet spelar, og kor statisk kravet ser ut. Varmetapet frå kuldebrueane er òg inkludert som ei sekundærakse. Trass i at denne verdien aukar når arealet

aukar, minkar den utrekna normaliserte kuldebruverdien. Med andre ord ikkje/lite samsvar mellom trenden til faktisk varmetap og den verdien som skal oppfylle passivhuskravet.



Figur 0-1. Normalisert kuldebruverdi som variabel av  $A_{BRA}$ , og varmetap frå kuldebruene.

Det uunngåelege geometriske bidraget legg avgrensingar på potensiell forbetring av bygningsdetaljane som lager kuldebruere. Når dette er sett opp mot dei bygningsdetaljane det er ynskjeleg å forbetre, viser det seg at det er lite tilgjengeleg forbetringspotensiale.

Det er sett på ringverknadar av kuldebruere i form av energibudsjet og risiko for fukt. Energibudsjettet inkluderer faktorane som er kravsbelagt i passivhusstandarden: Varmetap, energibehov til oppvarming og energiforbruk av el. og fossilt brensel. Etter å ha nytta normalisert kuldebruverdi som ein variabel, verkar det som bygningsform og mengde oppvarma bruksareal som er mest avgjerande for om faktorane kjem innanfor krava eller ikkje. Frå eit fuktperspektiv er det ikkje fare for kondens eller muggvekst ved nokon av dei valde bygningsdetaljane. Fukt kan derfor ikkje nyttast som grunngeving for å behalde den låge kravsværdien til kuldebruere.

Det er tydeleg at dagens krav til kuldebruere i NS 3700:2013 er svært strengt. Det er derfor kome med nye forslag for å vurdere varmetapet frå kuldebruene:

1. Auke minstekravet til normalisert kuldebruverdi.
2. Fjerne minstekravet til kuldebruere.
3. Justere minstekrav til normalisert kuldebruverdi i samsvar med oppvarma bruksareal.
4. Krav til kuldebruverdi,  $\Psi$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ].

På bakgrunn av arbeidet utført i denne studien, anbefalast det at minstekrav til kuldebruere vert fjerna, og heller ha krav til kuldebruverdi,  $\Psi$ . Dette vil sikre gode løysingar på eit komponentnivå, medan det totale varmetapet frå kuldebruene vert avgrensa av krav til varmetapstal og energibehov. Avslutningsvis er det påpeikt at tekniske forskrifter og standardar bør ha eit klårare presisjonsnivå på *kva* som skal inkluderast i varmetapet frå kuldebruene.



## SUMMARY

---

In a time with a major focus in reducing energy use, first step for buildings will be to reduce heat loss and thus reduce the need for energy. Thermal bridges contribute to an unwanted heat loss, and requirements are determined in TEK10 and NS3700:2013 to refine this loss. This thesis is based on the discussion whether these requirements are realistic or not. The purpose is to answer the question: “Requirements to normalized thermal bridge value – What is realistic values and how should they be evaluated?”

The geometric needed to make the accounting for the thermal bridges is taken from four catalog houses from Norgeshus. The houses have different design when it comes to number of floors and compactness. This is a condition to ensure a basis for discussion for a variety of small houses. One of the example houses was used in the preliminary project of this thesis; Demhohuset/Asplund. First step was to optimize the building system, which has been used on all the houses. This was a demanding process where the goal was to make Asplund fulfill the passive house requirement,  $\Psi'' \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . This was achieved, but with a very close call. A sum up of the building design and calculated values is gathered in Table 0-1.

*Table 0-1. Summary of normalised and normalised, geometrical thermal bridge value.*

<b>Example buildings</b>	<b>Asplund</b>	<b>Bris</b>	<b>Heia</b>	<b>Heimen</b>
Heated usable floor space [m <sup>2</sup> ]	166,6	189,4	143	89,9
Number of floors [no.]	2	2	1	1
Compact building structure?	No	Yes	No	Yes
Normalised thermal bridge value, $\Psi''$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,034	0,033	0,044	0,056
Normalised, geometrical thermal bridge value, $\Psi''_{geo}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,008	0,009	0,010	0,016
Requirements in NS 3700:2013	$\Psi'' \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$			

The table show a great variety in the calculated normalised thermal bridge value, which is a consequence of heated usable floor space and building design. Asplund and Bris just make the requirement, with the assumption that normalised thermal bridge value is measured with only two decimals. The normalized, geometric thermal bridge value is quite stable.

To see how much heated usable floor space affects the normalised thermal bridge value, more values are calculated for Bris and Heimen where area and perimeter are changed, see Figure 0-1. It clearly shows how much the heated usable floor space influences, and how static the requirement looks. Heat loss from the thermal bridges is also included as a secondary axis. Despite the elevation of heat loss, the normalised thermal bridge value decreases. This indicates that there is little accordance between heat loss and the value that has to fulfill the passive house requirement.

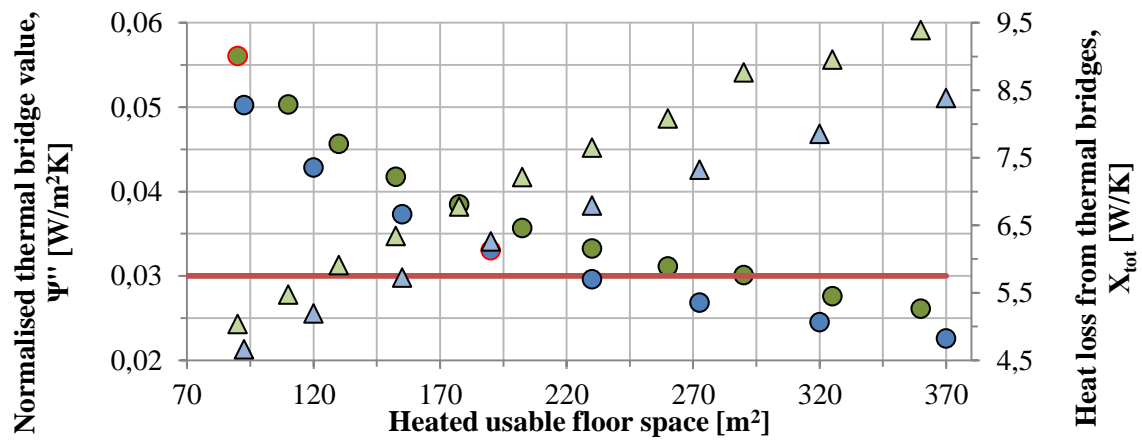
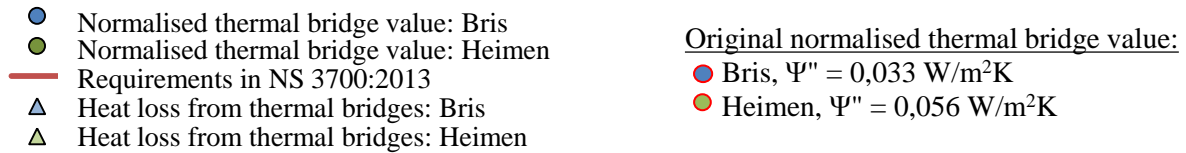


Figure 0-1. Normalised thermal bridge value as a variable of heated usable floor space, and heat loss from the thermal bridges.

The inevitably geometrical contributions refine potential improvement of the building parts that make the thermal bridges. This is seen together with what building parts that are wanted to improve, but unfortunately, it turns out to be little room for improvement available.

The effect thermal bridges has on energy budget and risk for moisture is examined. The energy budget includes the criteria that has to be fulfilled in NS 3700:2013: Heat loss, energy need for heating and energy use from electricity and fossil fuel. After using the normalised thermal bridge value as a variable, it seems like heated usable floor space and building design is most crucial for the normalised thermal bridge value to fulfill within the requirements. From a moisture point of view, there is no risk for condensation or mold growth by any of the thermal bridges. Moisture is therefore not a valid argument to keep the low value in the passive house standard.

It is obvious that today's requirements in NS 3700:2013 are very strict. Suggestions to other ways to evaluate the heat loss from thermal bridges is therefore presented:

1. Increase the minimum requirement for the normalised thermal bridge value
2. Remove the minimum requirement for the normalised thermal bridge value
3. Adjust the minimum requirement for the normalised thermal bridge value according to heated usable floor space
4. Having requirements to the thermal bridge value,  $\Psi$

Based on the work done in this thesis, it is recommended to remove the minimum requirement for the normalised thermal bridge value, and rather to have requirements to the thermal bridge value,  $\Psi$ . This will ensure good solutions whilst the total heat loss from the thermal bridges is refined by requirements to total heat loss and energy use. It is also pointed out that the technical regulations and standards should have a higher level on accuracy for what should be included in the heat loss from the thermal bridges.

# INNHALD

---

FØREORD .....	iii
SAMANDRAG .....	v
SUMMARY .....	vii
FIGURLISTE .....	xii
TABELLISTE .....	xiii
SYMBOL OG INDEKSAR .....	xiv
1 INNLEIING .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Føremål og problemstilling .....	2
1.3 Avgrensingar .....	2
1.4 Oppbygging av oppgåva .....	3
2 OM KULDEBRUER .....	5
2.1 Varmetap generelt .....	5
2.2 Varmetap frå kuldebruer .....	6
2.3 Geometriske kuldebruer .....	9
2.4 Krav og rettleiingar .....	10
2.5 Bakgrunnsstoff .....	14
2.6 Oppsummering .....	17
3 METODAR FOR VURDERING AV KULDEBRUER .....	19
3.1 Grove metodar for val av kuldebruverdi .....	19
3.2 Numerisk utrekning av kuldebruverdi .....	20
3.3 Energibudsjett .....	23
3.4 Risiko for fukt .....	24
4 EKSEMPELBUSTADANE .....	25
4.1 Føresetnadar for eksempelbustadane .....	26
4.2 Geometri i eksempelbustadane .....	26
5 INNGANGSVERDIAR OG MATERIALDATA .....	27
5.1 Temperaturar .....	27
5.2 Overgangsmotstand .....	27
5.3 Dimensjonerande varmekonduktivitet .....	27
6 VAL AV BYGGJESYSTEM .....	29

6.1	Utgangspunkt.....	29
6.2	Yttervegg .....	31
6.3	Golv på grunn med ringmur .....	35
6.4	Vindauge.....	38
6.5	Dør .....	39
6.6	Kompakt tak .....	39
6.7	Skorstein .....	40
6.8	Andre moglege kuldebruer .....	42
6.9	Oppsummering av kuldebruverdiar .....	42
6.10	Geometriske kuldebruverdiar .....	43
7	KULDEBRUREKNESKAP .....	45
7.1	Asplund.....	46
7.2	Bris.....	47
7.3	Heia.....	48
7.4	Heimen.....	49
7.5	Oppsummering .....	50
7.6	Normalisert kuldebruverdi mot oppvarma bruksareal.....	51
8	RINGVERKNADAR AV KULDEBRUER .....	53
8.1	Energibudsjett.....	53
8.2	Kondens og muggvekst .....	56
9	DISKUSJON.....	61
9.1	Realistiske normaliserte kuldebruverdiar .....	61
9.2	Tilgjengeleg forbettringspotensiale .....	62
9.3	Metodar for å vurdere kravsverdi til kuldebruer .....	64
9.4	Boligprodusentene sine høyringsmerknadar til nye energikrav .....	66
10	KONKLUSJON .....	69
11	VIDARE ARBEID.....	71
	REFERANSELISTE .....	73

## VEDLEGG

Vedlegg A – Oppgåvetekst .....	I
Vedlegg B – Planteikningar .....	V
Vedlegg C – Legerte sjikt.....	VIII
Vedlegg D – Arealandel av IsoCon-beslag .....	XI
Vedlegg E – IsoCon-beslag på thermomur .....	XIII
Vedlegg F – Utrekning av kuldebruverdiar.....	XIV
Vedlegg G – Ekvivalent varmekonduktivitet.....	XXVIII
Vedlegg H – Utrekning av geometriske kuldebruverdiar .....	XXX
Vedlegg I – Dokumentasjon frå TEK-sjekk.....	XXXVI

## FIGURLISTE

---

Figur 0-1. Normalisert kuldebruverdi som variabel av $A_{BRA}$ , og varmetap frå kuldebruer. ....	vi
Figur 2-1. Konsekvensar av varmetap.....	5
Figur 2-2. Kyoto-pyramiden, vegen til passiv energidesign (Bolig Enøk, 2015). ....	5
Figur 2-3. Illustrasjon av døme på ulike typar kuldebruer: .....	6
Figur 2-4. Lokalisering av vanlege kuldebruer i ei bygning (NS-EN ISO 14683:2007). ....	7
Figur 2-5. Døme på varmetap gjennom ein vegg med betongdekke.....	8
Figur 2-6. Definisjon av totalt utvendig, totalt innvendige og innvendige mål. ....	9
Figur 2-7. Material- og geometrisk bidrag til varmetap for eit forenkla hjørne.....	10
Figur 2-8. Døme på energieffektive og passive tiltak (Passivhaus Institut, 2006).....	12
Figur 2-9. Varmebehov definert etter NS 3700:2013. ....	13
Figur 2-10. Byggforsksierar som omfattar tilfredsstilling av energikrav i TEK10.....	14
Figur 2-11. Endring av normalisert kuldebruverdi ved ending av bygningsform og $A_{BRA}$ . ....	16
Figur 3-1. Prinsipp for lengder nytta ved numerisk utrekning av kuldebruverdiar.....	22
Figur 4-1. Kataloghuset Asplund (Norges hus, 2015b). ....	25
Figur 4-2. Kataloghuset Bris (Norges hus, 2015c).....	25
Figur 4-3. Kataloghuset Heia (Norges hus, 2015d). ....	25
Figur 4-4. Kataloghuset Heimen (Norges hus, 2015e).....	25
Figur 6-1. Snitt av 300 mm Iso3-stender.....	32
Figur 6-2. Bindingsverk av Iso3-stender.....	32
Figur 6-3. Oppbygging av hjørne med Iso3-stender (Moelven, 2015b). ....	33
Figur 6-4. Etasjeskiljar med Iso3-stender i yttervegg, (Norges hus, 2015a).....	34
Figur 6-5. Varmeisolert betonggolvpå grunn (Byggforskserien, 521.111). ....	35
Figur 6-6. Jackon Thermomur 350 (SINTEF Certification, Nr. 2144). ....	36
Figur 6-7. Forenkla vindaug med isolert ramme og karm og heva vindaugsbrett.....	38
Figur 6-8. Kompakt tak med bindingsverk av Iso3-stender. ....	40
Figur 6-9. Skorstein mot kaldt loft (Byggforskserien, 472.911). ....	41
Figur 7-1. Normalisert kuldebruverdi som variabel av $A_{BRA}$ , og varmetap frå kuldebruer. ....	51
Figur 8-1. Komponentane sin andel av det totale varmetapstalet for Asplund og Heimen. ....	55
Figur 8-2. Dimensjonering mot overflatekondens, innetemperatur = 15 °C.....	57
Figur 8-3. Dimensjonering mot overflatekondens, innetemperatur = 25 °C .....	57
Figur 8-4. Variasjon av innvendig fukttilskot .....	57
Figur 8-5. Dimensjonerande temperaturfaktor.....	57
Figur 8-6. Uthenta verdiar for overflatetemperatur ved golv på grunn.....	59
Figur 8-7. Uthenta verdiar for overflatetemperatur ved flatt tak.....	59
Figur 8-8. Uthenta verdiar for overflatetemperatur ved etasjeskiljar. ....	59
Figur 8-9. Uthenta verdiar for overflatetemperatur ved utovervendt hjørne.....	59
Figur 8-10. Uthenta verdiar for overflatetemperatur ved vindaug. ....	59

## TABELLISTE

---

Tabell 0-1. Oppsummering av normalisert og normalisert, geometriske kuldebruverdi. ....	v
Tabell 2-1. Oppsett for varmetapsbudsjett henta frå NS 3031:2014.....	6
Tabell 2-2. Krav i TEK10 for normalisert kuldebruverdi, der $m^2$ er i oppvarma $A_{BRA}$ . ....	11
Tabell 2-3. Høgaste varmetapstal for transmisjons- og infiltrasjonstap (NS, 3700:2013).....	13
Tabell 2-4. Minstekrav til normalisert kuldebruverdi frå passivhusstandardane. ....	13
Tabell 3-1. Usikkerheit ved metodar for å finne kuldebruverdi (NS-EN ISO 14683:2007)....	19
Tabell 4-1. Val av kataloghus, fordelt på ynskja bygningsutforming. ....	25
Tabell 4-2. Lengder og areal til dei valde eksempelbustadane. ....	26
Tabell 5-1. Val av temperaturar. ....	27
Tabell 5-2. Overgangsmotstand etter NS-EN ISO 6946:2007. ....	27
Tabell 5-3. Verdier for varmekonduktivitet, $\lambda$ . ....	28
Tabell 6-1. Verdier for U-verdi og minstekrav til bygningskomponentar i NS 3700:2013.....	29
Tabell 6-2. Kuldebrurekneskap for Demohuset, $A_{BRA}=166,6 m^2$ (Svare, 2014). ....	30
Tabell 6-3. Oppbygging av ulike isolerte bindingsverk i vegg, med U-verdi.....	32
Tabell 6-4. Kuldebruverdiar for Thermomur, med og utan beslag og EPS under ringmuren..	37
Tabell 6-5. Oppsummering av U-verdi og kuldebruverdi.....	43
Tabell 6-6. Ekvivalent varmekonduktivitet ved modellering av geometriske tilslutningar. ....	44
Tabell 6-7. Geometriske kuldebruverdiar og samanlikning mot total kuldebruverdi. ....	44
Tabell 7-1. Kuldebrurekneskap for eksempelbustaden Asplund.....	46
Tabell 7-2. Geometrisk kuldebrurekneskap for Asplund. ....	46
Tabell 7-3. Kuldebrurekneskap for eksempelbustaden Bris. ....	47
Tabell 7-4. Geometrisk kuldebrurekneskap for Bris. ....	47
Tabell 7-5. Kuldebrurekneskap for eksempelbustaden Heia.....	48
Tabell 7-6. Geometrisk kuldebrurekneskap for Heia. ....	48
Tabell 7-7. Kuldebrurekneskap for eksempelbustaden Heimen. ....	49
Tabell 7-8. Geometrisk kuldebrurekneskap for Heimen. ....	49
Tabell 7-9. Oppsummering av kuldebrutap og normalisert kuldebruverdi.....	50
Tabell 8-1. Energibudsjett for eksempelbustadane. ....	54
Tabell 8-2. Overflatetemperatur med tilhøyrande temperaturfaktorar til konstruksjonane. ....	58
Tabell 8-3. Dimensjonerande temperaturfaktorar. ....	58
Tabell 9-1. Komponentane sin prosentvise andel av totalt varmetap.....	62
Tabell 9-2. Døme på kravsverdiar til normalisert kuldebruverdi avhengig av $A_{BRA}$ . ....	65

## SYMBOL OG INDEKSAR

---

Tabellane under samlar symbol og indeksar som er nytta i oppgåva.

Symbol	Eining	Forklaring
$\psi''$	W/m <sup>2</sup> K	Normalisert kuldebruverdi
$\Psi''_{geo}$	W/m <sup>2</sup> K	Normalisert, geometrisk kuldebruverdi
$\Psi$	W/mK	Lineær kuldebruverdi
$l$	m	Lengde
$X$	W/K	Punktkuldebruverdi
$L^{2D}$	W/mK	Lineær varmestraum frå 2D-berekning
$U$	W/m <sup>2</sup> K	U-verdi
$R$	m <sup>2</sup> K/W	Varmemotstand
$\lambda$	W/mK	Varmekonduktivitet
$d$	m	tjukn
$b$	mm	Tjukn, kontinuerleg isolasjonssjikt
$H''$	W/m <sup>2</sup> K	Varmetapstal
$A$	m <sup>2</sup>	Areal
$f^*$	-	Temperaturfaktor for konstruksjon
$f_{dim}$	-	Dimensjonerande temperaturfaktor for kondens
$f_{dim,maks}$	-	Dimensjonerande temperaturfaktor for muggvekst
$\theta$	°C	Temperatur
$\Delta v$	g/m <sup>3</sup>	Fuktilskot

Indeks	Forklaring
tr	Transmisjon
inf	Infiltrasjon
geo	Geometrisk bidrag
si	Innvendig overflate
se	Utvendig overflate
i	Inne
e	Ute
ekv	Ekvivalent
BRA	Oppvarma bruksareal
tot	Total



# 1 INNLEIING

---

Innleiinga presenterer bakgrunn for oppgåva og definerer problemstilling og føremål. I tillegg er det arbeidd med å setje avgrensingar og kva ramar rapporten byggjer på. Avslutningsvis er oppgåva si oppbygging lagt fram med eit kort samandrag av innhald.

## 1.1 BAKGRUNN

Energieffektivitet og reduksjon av varmetap er sentrale tema i ei tid der avgrensa energiresursar er ein av dei store utfordringane i verda. Gjennom studiet har vi vore innom fleire aspekt av energibruk i bygningar, både på teknisk og administrativt nivå. Val av masteroppgåve botnar i val av prosjektoppgåve. Det var temaet «kuldebruer» som fanga størst interesse da oppgåva skulle veljast for eit år sidan. Sidan prosjektoppgåva vart utforma som eit forprosjekt, har ho bidrege til å gjeva ei større forståing for kuldebruene, både i utforming og oppføring, men òg ved berekning. Prosjektoppgåva sin tittel er: «Kuldebrurekneskap og vurdering av geometriske kuldebruer for ein bustad prosjektert som passivhus» Svare (2014).

Bakgrunnen for oppgåva er den pågåande diskusjonen om krav til normalisert kuldebruverdi er i samsvar med realistiske verdiar for småhus som skal byggjast etter passivhusstandarden, NS 3700:2013. Etter å ha gjennomført eit kuldebrurekneskap for ein eksempelbustad i prosjektoppgåva viste det seg at den normaliserte kuldebruverdien ikkje kom innanfor kravet. Det vart konkludert med at vidare arbeid burde omfatte:

- Ytterlegare optimalisering av bygningsdetaljane (byggjesystem)
- Numerisk utrekning av kuldebruverdiar i staden for å nytte kuldebrutabellar
- Kuldebrurekneskap for fleire bustadar med ulik type bygningsutforming
- Vidare vurdering av dei geometriske kuldebruene

Huset sin overordna funksjon har alltid vore å skjerme menneske mot dei skiftande påkjenningane frå det utvendige klimaet. Dette er ei utvikling som har gått frå høl i steinalderen, til bygningar som ikkje berre skal gjeva ly for vår og vern mot villdyr. I dag er det strenge krav som skal sikre høg komfort for bebuarane. Thue skildrar dagens moderne bygningar som: «[...] et komplekst og sammensatt produkt, hvor en mengde enkeltdeler skal samvirke for å oppfylle en rekke, tidvis motstridende, krav» (2010). Når krava til bygningane aukar vil det naturleg nok òg auke kompleksiteten. Krav om forventa kompetanse aukar for dei involverte partane, både prosjekterande og utførande. Passivhus er ikkje noko unntak. Det overordna målet for alle bygningar, er at menneske skal kunne leve og arbeide i dei utan at helse, trivsel eller sikkerheit vert ramma på nokon måte (NTNU og SINTEF, 2007). Nokre gongar er det viktig å ta eit steg attende å sjå på den større samanhengen, ikkje berre teoretiske krav og løysingar. Folk skal ha ein komfortabel og trygg heim, samstundes som energieffektivitet er sikra. Likevel må krava vere i samsvar med faktiske forhold. Med dette prinsippet i botnen, vil neste kapittel presentere føremål og problemstilling.

## 1.2 FØREMÅL OG PROBLEMSTILLING

Forslag til vidare arbeid frå prosjektoppgåva er utgangspunktet for denne masteroppgåva. Hovudmålet er å vurdere kor realistisk kuldebrukravet i den norske passivhusstandarden er for småhus, og om det er meir eigna metodar for å vurdere kravet. Føremålet er å skape eit betre diskusjonsgrunnlag for vurdering av kravsverdiar til normalisert kuldebruverdi. Dette har resultert i problemstillinga:

*«Krav til normalisert kuldebruverdi – Kva er realistiske verdiar og korleis bør det vurderast?»*

Det er lagt fokus på at ein kravsverdi burde vere representativ for vald kriterium, og ikkje berre eit fint tal som passar i ein standard. Ettersom myndigheitene varslar passivhusnivå som forskriftskrav innan 2020 (Dokka, et al., 2012), er det viktig at krava er gjennomarbeida og i samsvar med kva som er realistisk og føremålstenleg å byggje. Direktoratet for byggkvalitet, DiBK, sine forslag til nye energikrav for komande TEK har allereie vore på høyring. Boligprodusentene (2015), som har kome med høyringsmerknadar, nytta resultat frå prosjektoppgåva som grunnlag for å vurdere det føreslåtte kravet til normalisert kuldebruverdi for småhus. Dette viser aktualiteten av arbeidet som er gjort, og viktigheita av å skape eit enda betre grunnlag for komande krav.

For å sjå på ringverknadane til kuldebruene utanfor kuldebrurekneskapane, vart det avgjort at resterande energikrav i passivhusstandarden og risiko for fukt skulle vurderast. Føremålet er å sjå kor stor påverknad kuldebruene har for andre målbare faktorar, som òg er relevante for å vurdere energibruk i ei bygning eller inneklimate. Det heile handlar om å finne ein balansegang mellom dei faktiske behova og dei ambisiøse måla til energieffektivitet.

## 1.3 AVGRENSINGAR

Det er gjort/vald avgrensingar til oppgåva for å sikre fagleg spissing, men òg for å tilpasse arbeidsomfanget. Dette inneber blant anna at det er vald ut fire småhus som representerer ulike bygningsutformingar. Det ville det vore fordelaktig å sjå på enda fleire ulike bustadar for å skape eit enda betre bilete av kva som er realistiske normaliserte kuldebruverdiar, men for å tilpasse arbeidsmengde er det vald å avgrense talet til fire. Til gjengjeld er desse vald med omhug, for å sikre variasjon i bygningsutforming og dermed gjev eit tilfredsstillande bilete på kva spenn ein kan forvente av realistiske verdiar. Oppgåva er retta mot småhus, sidan oppfyljing av energikrav for slike hus har vist seg krevjande.

Det er i liten eller ingen grad teke omsyn til faktorar som fuktsikring, lufttetting, effektiv bygging, material- eller byggjekostand ved val av byggjesystem. Faktorane vil vere relevante ved oppsetjing av eit hus, både småhus og større bygningar. Å ikkje inkludere dei er eit bevisst val for å avgrense arbeidsmengde, og det gjev moglegheit til å snevre inn resultatet og spisse det inn på den valde problemstillinga.

## **1.4 OPPBYGGING AV OPPGÅVA**

Kapittel 1 tek for seg bakgrunn for val av oppgåve, formål og problemstilling, avgrensingar og oppbygging av sjølve oppgåva.

Kapittel 2 definerer omgrep og presenter teori og bakgrunnsstoff som er nødvendig for å setja oppgåva i samanheng.

Kapittel 3 omhandlar metodar som vert nytta for å vurdere kuldebruer. Metodane omfattar både direkte vurdering av varmetapet frå kuldebruer, men òg vurdering av energibudsjett og risiko for fukt.

Kapittel 4 presenterer eksempelbusadane som er vald. Dette omfattar bakgrunn for val og skildring av deira geometriske utforming.

Kapittel 5 samlar inngangsverdiar og materialdata som er nytta ved utrekning av kuldebruverdiar og liknande.

Kapittel 6 skildrar val av byggesystem og den prosessen som har ført fram til endeleg val. Utrekna kuldebruverdi for alle dei aktuelle bygningsdetaljane er presentert. Dette er eit omfattande kapittel som òg tek for seg endringar som er gjort frå prosjektoppgåva og skilnad i kuldebruverdi for dei enkelte bygningsdetaljane. Dei geometriske kuldebruene er òg ein del av kapittelet, og tilhøyrande kuldebruverdiar er kalkulert og presentert.

Kapittel 7 arbeidar vidare med dei utrekna kuldebruverdiane, og kuldebrurekneskap til dei fire busadane er utført. Her er det òg samla ein liten diskusjon som er retta direkte mot dei utkomne resultatane. Avslutningsvis er det sett på kva som skjer med normalisert kuldebruverdi når ein varierer oppvarma bruksareal for to av eksempelbusadane.

Kapittel 8 gjer ei vurdering av dei andre energikrava som er sett i passivhusstandarden, ved å setje opp eit energibudsjett med utgangspunkt i dei utrekna normaliserte kuldebruverdiane til kvar av busadane. Risiko for kondens og muggvekst ved dei ulike kuldebruene er vurdert, for å kunne avgjere om dette kan vere eit reelt problem for kuldebruene. Også desse resultatane vil kort diskutere under sine kapittel, før ein overordna diskusjon retta mot problemstillinga vert presentert i diskusjonskapittelet.

Kapittel 9 nyttar resultatane til å diskutere problemstillinga, slik at det er mogleg å kome med ei anbefaling på grunnlag av arbeidet gjort i masteroppgåva. Det er òg sett på tilgjengeleg forbettringspotensial til dei enkelte bygningstilslutningane.

Kapittel 10 presenterer konklusjon som svarar på problemstillinga og legg fram ei anbefaling for korleis ein bør vurdere varmetap frå kuldebruer.

Kapittel 11 tek for seg vidare arbeid som er aktuelt etter å ha utført denne masterstudien.

Vedlegg er i stor grad nytta for å samle informasjon som ikkje direkte har sin naturlege stad i oppgåva. Dette omfattar blant anna teikningsgrunnlag og lengre utrekningar. I mange tilfelle er vedlegga nødvendige for å sikre at forsøk skal kunne etterprøvast, og er derfor ein viktig del av oppgåva.



## 2 OM KULDEBRUER

Kapittelet presenterer omgrep, teori og bakgrunnsstoff som er nødvendig for å setje oppgåva i samanheng. Sidan stoffet ikkje skil seg ut til å vere direkte teori, eller direkte metode, er det samla for å gjeva betre flyt. Fyrst er omgrepa «varmetap», «kuldebru» og «geometrisk kuldebru» definert og greidd ut om, for deretter å introdusere krav og rettleiingar som sett det heile i perspektiv. Det er òg inkludert bakgrunnsstoff som er med på å leggje grunnlag og betraktningar for denne oppgåva. Teorien som omhandlar kuldebruer er i stor grad henta frå prosjektoppgåva «Kuldebrurekneskap og vurdering av geometriske kuldebruer for ein bustad prosjektert som passivhus» (Svare, 2014).

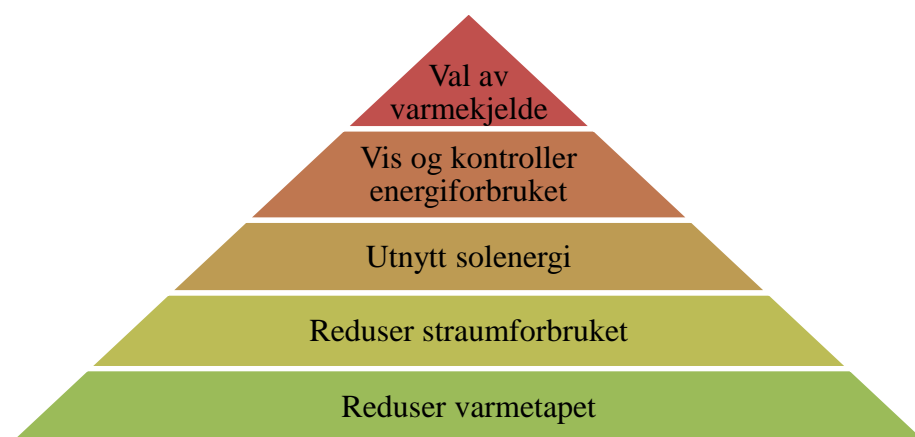
### 2.1 VARMETAP GENERELT

Varmetap er den mengda produsert varme som lekk ut av ein bustad gjennom blant anna klimaskjermen og gjennomføringar i klimaskjermen. Dette vil vere tap av energi, og muligheit til å avgrense varmetapet vil vere viktig for å kunne oppnå ein energieffektiv bustad. Stort varmetap kan òg påverke temperaturen inne i ein slik grad at det kan føre til ubehageleg inn klima.



Figur 2-1. Konsekvensar av varmetap.

I følgje Kyoto-pyramiden, sjå Figur 2-2, er reduksjon av varmetap det viktigaste energitiltaket for å oppnå ein «passiv» og energieffektiv bustad. Den mest miljøvenlege og billige energien, er den vi ikkje har behov for. Ved å redusere varmetapet vil mindre energi gå til spille, energibehovet og -forbruket vert dermed mindre og dette vil blant anna medføre reduserte kostnader knytt til straum- og energiforbruk. Målet er å bryte konsekvenskjeda i Figur 2-1,



Figur 2-2. Kyoto-pyramiden, vegen til passiv energidesign (Bolig Enøk, 2015).

Når ein ser på varmetapet i samanheng med eit energibudsjettet for ein bustad, er det varmetapstalet,  $H''$ , ein vurderer. Tabell 2-1 viser ei komplett liste over kva varmetapstalet inneheld når det skal vurderast i samsvar med Norsk Standard sine retningslinjer. Tabellen er henta frå NS 3031:2014 «Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data».

Tabell 2-1. Oppsett for varmetapsbudsjett henta frå NS 3031:2014.

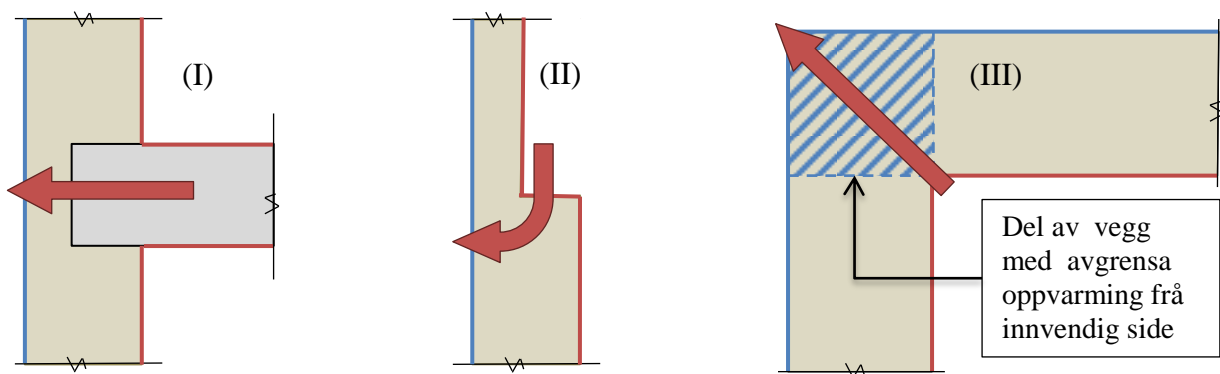
Varmetapspost	Varmetapstal, $H''$ [ $W/m^2K$ ]
Ytterveggar	
Yttertak	
Golv	
Vindauge og dører	
Kuldebruer	
Infiltrasjon	
Ventilasjon	
<b>Samla varmetapstal</b>	

Frå tabellen kjem det fram at det er i hovudsak varmetap frå ulike bygningsdelar som vert vurdert, men òg frå ventilasjon og infiltrasjon. Hovudfokuset i denne oppgåva er varmetapet frå kuldebruer.

## 2.2 VARMETAP FRÅ KULDEBRUER

Ei kuldebru er definert som ein del av omsluttande konstruksjon der varmemotstanden, som elles er einsarta, vert endra av betydeleg grad på grunn av ein eller fleire av punkta nedanfor (Gustavsen, et al., 2008). Dømer på for dei ulike punkta er gjeve i Figur 2-3

1. Heil eller delvis gjennomtrenging av den omsluttande konstruksjonen der materialet har høgare varmekonduktivitet. Figur 2-3 (I).
2. Endring av konstruksjonen si tjukn. Figur 2-3 (II).
3. Skilnad mellom inn- og utvendig overflateareal, òg kalla geometrisk kuldebru. Figur 2-3 (III).



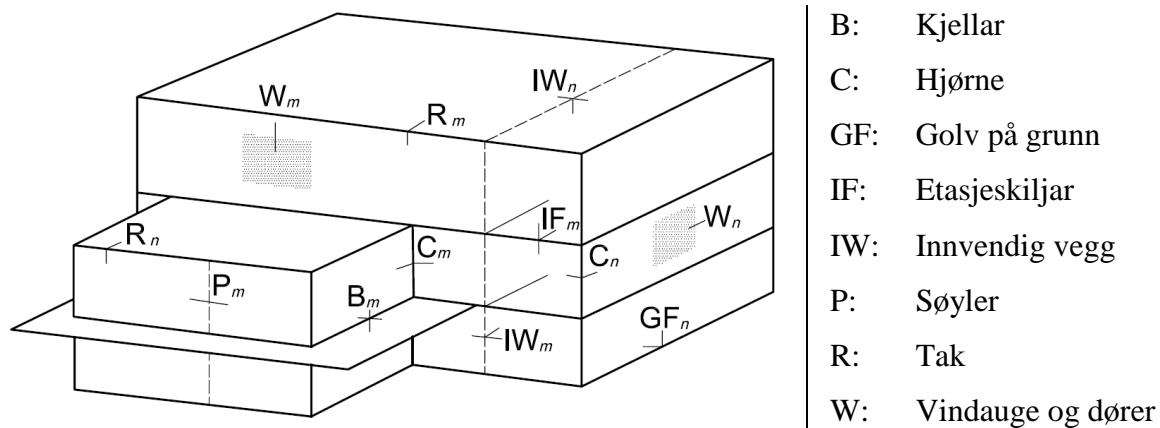
Figur 2-3. Illustrasjon av døme på ulike typar kuldebruer:

(I) Etasjeskiljar med betongdekke som går inn i veggkonstruksjonen, (II) endring i materialtjukk og (III) horisontalt snitt av utovervendt hjørne; geometrisk kuldebru.

Kort fortalt kan ein seie at kuldebruene skildrar det varmetapet som ikkje er inkludert i U-verdiane. U-verdien er eit omgrep som nyttast for å skildre den varmeisolerande evna til ein bygningsdel. Det er viktig å vere klar over kva som er med i U-verdien til ein bygningsdel, slik at ting ikkje vert inkludert i både varmetap frå kuldebruer og i U-verdien. TEK10 seier at

kuldebruer som kjem fram av konstruksjonsmåte skal inkluderast i bygningsdelen sin U-verdien (DiBK, 2010a). Til dømes betyr dette at stenderverk, losholtar og ekstra forsterking rundt vindauge og dørar i ein vegg inkluderast i U-verdien. Dette er òg i samsvar med retningslinjer i den internasjonale standarden for kuldebruer, NS-EN ISO 10211:2007.

Figur 2-4 viser lokalisering av vanlege kuldebruer i ei bygning. Forklaring på bokstavane er gjeve til høgre for figuren.



Figur 2-4. Lokalisering av vanlege kuldebruer i ei bygning (NS-EN ISO 14683:2007).

I tillegg til dei lista opp ovanfor, vil det òg vere kuldebruer ved gjennomføringar i klimaskjermen på grunn av blant anna skorstein, drenering av takvatn, ventilasjonsanlegg, balkong, osb.

### 2.2.1 KULDEBRUVERDI

For å kvantitativt definere kor stort varmetap kuldebrua i ei tilslutning utgjer, er det omgrepet *kuldebruverdi* som er nytta. Det er skilja mellom lineære kuldebruer,  $\Psi$ , og punkt-kuldebruer,  $X$ . Lineære kuldebruer omfattar kuldebruer som går over fleire løpemetar, til dømes i hjørne. Punktkuldebruer omfattar tredimensjonale kuldebruer, til dømes skorstein som trengjer seg gjennom taket. Desse verdiane vert nytta til å rekne ut den normaliserte kuldebruverdien, som er verdien det er sett krav til i dagens forskrifter og standardar.

For å finne den lineære kuldebruverdien kan ei tenkje på ei bygningsstilslutning som ein «perfekt» konstruksjon med ein eller fleire «feil». Varmestraumen til den/dei «perfekte» delane i konstruksjonane er inkludert i U-verdien, og denne/desse er relativt lette å finne. «Feilen», den delen som ikkje er inkludert i U-verdien, er det vi kallar kuldebru. Det er denne vi ynskjer å finne. Kort forklart tek ein dermed den totale varmestraumen og trekk frå varmestraumen gjennom dei «perfekte» delane. Resterande varmestraumen gjennom «feilen» er kuldebruverdien [W/mK] for den aktuelle bygningstilslutninga. Sjå Figur 2-5 for døme på metode for ein etasjeskiljar med betongdekke.

Formel for lineær kuldebruverdi:

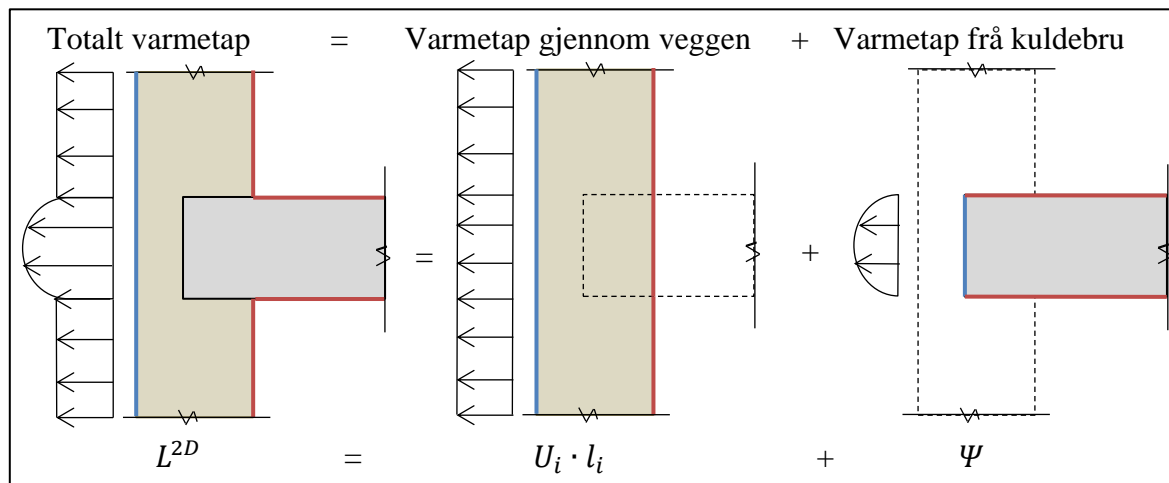
$$\Psi = L^{2D} - \sum U_i \cdot l_i \quad [W/mK] \quad (1)$$

der:

$L^{2D}$  er total varmestraum for heile tilslutninga [W/mK].

$U_i$  er U-verdi til tilslutningane rundt kuldebrua [W/m<sup>2</sup>K].

$l_i$  er lengda til tilslutning som U-verdien er rekna ut for [m].



Figur 2-5. Døme på varmetap gjennom ein vegg med betongdekke.

For å få ut kuldebrutapet [W/K] må kuldebruverdien multiplisert med lengda kuldebrua strekk seg over. Det er kuldebrutapa som summerast og nyttast til å rekne ut den normaliserte kuldebruverdien.

### 2.2.2 NORMALISERT KULDEBRUVERDI

Omgrepet «normalisert kuldebruverdi» er relativt nytt, og vart for fyrste gong introdusert i Noreg i Byggtknisk forskrift i 2007. Det er krav til denne verdien ein målar det kvantitative varmetapet frå kuldebruene opp mot. Den normaliserte kuldebruverdien,  $\Psi''$ , vert i Byggtknisk forskrift definert som:

$$\Psi'' = \frac{\sum \Psi_j \cdot l_j + \sum X_k}{A_{BRA}} \quad \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (2)$$

der:

$\Psi_j$  er lineær kuldebruverdi for dei enkelte kuldebruene [W/mK].

$l_j$  er lengdene til dei enkelte lineære kuldebruene [m].

$X_k$  er varmetap frå punktkuldebruene/tredimensjonale kuldebruer [W/K].

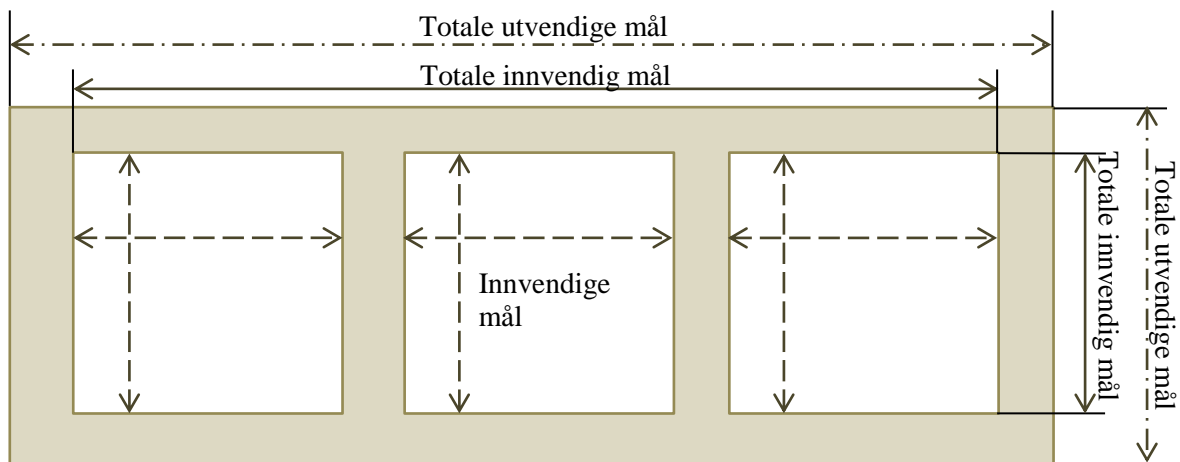
$A_{BRA}$  er oppvarma bruksareal [m<sup>2</sup>].

### 2.2.3 KULDEBRUENE SI UTBREIING

I Noreg er det *totale innvendige mål* som nyttast ved utrekning av varmetap i form av U-verdi og kuldebruverdi, og til generell definering av lengder og areal. Lengdene vert målt frå innvendig side av yttervegg, og dette tyder at tilslutningar som til dømes hjørne ikkje vert inkludert i U-verdien. Den internasjonale standarden som omhandlar utrekningsmetodar for lineær varmegjennomgangskoeffisient (NS-EN ISO, 14683:2007) skildrar tre metodar for val



av lengder ved definering av mål. Dette er totale utvendige mål, totale innvendige mål og innvendige mål, sjå Figur 2-6.



Figur 2-6. Definisjon av totalt utvendig, totalt innvendige og innvendige mål.

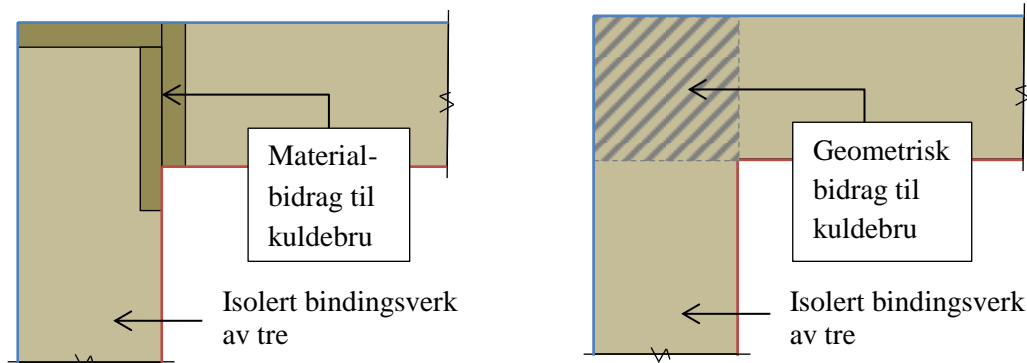
Mange utanlandske utrekningar er basert på totale utvendige mål som referanse, og vil få mindre kuldebrutap på grunn av at dei geometriske kuldebruene vert ekskludert frå den normaliserte kuldebruverdien. Ved å gjere dette er dei i stand til å få tilnærma kuldebrufrie konstruksjonar, noko som vil vere umogleg og oppnå ved å nytte dei norske utrekningsmetodane.

#### 2.2.4 KONSEKVEN SAR AV KULDEBRUER

Årsaken til at kuldebruer bør reduserast til eit minimum er ikkje berre på grunn av varmetapet dei medfører. Konsekvensar som låge overflatetemperaturar kan føre til redusert komfort, overflatekondens, sverting/støvkondens og temperaturspenningar i material. Dette er uynskte konsekvensar som vil påverke og forsterke kvarandre. Ved å minimere kuldebruene vil ein dermed ikkje berre spare pengar som konsekvens av betre energieffektivitet, men òg skape eit betre inneklima og ein bustad som varar lenger.

### 2.3 GEOMETRISKE KULDEBRUER

Geometriske kuldebruer er det bidraget som oppstår når skilnad mellom innvendig og utvendig overflate areal førar til at delar av ei tilslutning vil ha område som er meir utsett for kald luft enn oppvarma (eller omvendt, som er tilfelle for innovervendte hjørne). Dette er illustrert i Figur 2-7 der det skiljast mellom bidrag frå material og bidrag på grunn av geometrien. Materialbidrag kjem som ein konsekvens av at material med lågare varmemotstand enn resterande konstruksjon treng gjennom. Det geometriske bidraget, som er illustrert med skraverte området, er utsett for meir kald en varm luft og det er dette som skapar kuldebrua. Aktuelle stader ein finn geometriske kuldebruer er hjørne i yttervegg, parapet i tak og ringmur i golv på grunn.



Figur 2-7. Material- og geometrisk bidrag til varmetap for eit forenkla hjørne.

Dei geometriske kuldebruene er aktuelle å sjå på når det gjeld å skape ein lågast mogleg normalisert kuldebruverdi. Dette fordi dei geometriske kuldebruene representerer eit bidrag til varmetap ein ikkje klarar å unngå på grunn av utforming (med mindre ein byggjer sirkulære tilslutningar). Ved tilslutningar som utovervendt hjørne, golv mot grunn og tilslutning takvegg vil det alltid vere ei utvendig, kald overflate som er større enn innvendig, varm, overflate, og dermed òg ei geometrisk kuldebru.

I prosjektoppgåva, vart det definert eit nytt omgrep: «Normalisert, geometrisk kuldebruverdi»,  $\Psi''_{geo}$ . Denne verdien vil, på den same måten som normalisert kuldebruverdi, summere varmetap frå kuldebruene for deretter å dele på oppvarma bruksareal. Skilnaden er at det er berre varmetap frå dei geometriske kuldebruene som er inkludert:

$$\Psi''_{geo} = \frac{\sum \Psi_{geo,j} \cdot l_j + \sum X_{geo,k}}{A_{BRA}} \quad \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (3)$$

der:

$\Psi_{geo,j}$  er lineær kuldebruverdi for dei enkelte geometriske kuldebruene [W/mK].

$l_j$  er lengdene til dei enkelte lineære kuldebruene [m].

$X_{geo,k}$  er varmetap frå geometriske punkt- / tredimensjonale kuldebruer [W/K].

$A_{BRA}$  er oppvarma bruksareal [m<sup>2</sup>].

## 2.4 KRAV OG RETTLEIINGAR

Krav og rettleiingar legg føringar for arbeidet som er gjort. Passivhusstandarden for bustadar og Byggteknisk forskrift frå DiBK har vore viktige, ettersom dei avgjer kva slags krav som skal tilfredsstillast. Byggforskserien gjev rettleiingar til byggesystem, kuldebruverdiar, vurdering av energikrav osv. Desse er presentert vidare, med fokus på deira nødvendige bidrag til denne oppgåva.

Interne retningslinjer og prosjektrapportar frå SINTEF Byggforsk er òg nytta i stor grad. Ettersom desse ikkje legg grunnlag for «ny» teori, vil desse refererast til der dei er nytta. Det har vore nytta lite utanlandsk litteratur, utanom nokre standardar. Grunngevinga for dette er at mange land har ein annan måte å rekne på kuldebruer på enn det som er praktisert i Noreg. Utan likt utrekningsgrunnlag vil ikkje samanlikningsgrunnlaget vere tilfredsstilt.

## 2.4.1 BYGGTEKNISK FORSKRIFT

*«Forskrift om tekniske krav til byggverk trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge.»*

(DiBK, 2011)

Desse forskriftene vart for fyrste gong introdusert i 1997, og har sidan da vorte oppdatert fem gongar. I dag er det TEK10 som er gjeldane, og det er krav her som må følgjast for lovleg å setje opp byggverk og bygningar i Noreg. Frå 2020 har norske myndigheiter varsla at passivhus vert forskriftskrav (Dokka, et al., 2012).

Krav til energi er samla i kapittel 14 i forskrifta. For energieffektivitet må ein av to paragrafar tilfredsstillast, anten «§ 14.3. Energiltak» eller «§ 14.4. Energirammer». Modellen for energiltak er basert på kravsverdiar til varmetap frå transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon. Omfordeling av varmetap for bustader er mogleg, så lengje det totale utrekna varmetapet ikkje aukar. Krava i denne modellen er dermed knytt opp til bygninga sine prestasjonar på komponentnivå. Energirammer sett krav til totalt netto energibehov, og vurderer bygninga på eit meir overordna nivå. For begge paragrafane skal minstekrav til lekkasjetal og U-verdi for yttervegg, tak, golv, vindauge og dører vere tilfredsstilt.

Den normaliserte kuldebruverdien er eit relativt nytt omgrep, og krav til denne verdien ligg under energiltak. I Noreg vart han for fyrste gong introdusert i vegleiinga til TEK 2007. Krav til normalisert kuldebruverdi i TEK10 for bustadar og andre bygningar er samla i Tabell 2-2.

Tabell 2-2. Krav i TEK10 for normalisert kuldebruverdi, der  $m^2$  er i oppvarma  $A_{BRA}$ .

	Bustadar	Andre bygningar
Normalisert kuldebruverdi, $\Psi''$ [ $W/m^2K$ ]	0,03 <sup>(a)</sup>	0,06 <sup>(b)</sup>
<sup>(a)</sup> Normalisert kuldebruverdi for bustad kan fråvikast så fram det totale varmetapstalet for bygninga ikkje aukar. Dette betyr at ein kan sjå på omfordeling mellom tiltak som er knytt til transmisjons-, infiltrasjons- og ventilasjonstap.		
<sup>(b)</sup> Normalisert kuldebruverdi for andre bygningar kan fråvikast så fram ikkje det totale varmetapstalet knytt til transmisjonstap for bygninga ikkje aukar. Dette betyr at ein kan sjå på omfordeling mellom tiltak som er knytt til transmisjonstap.		

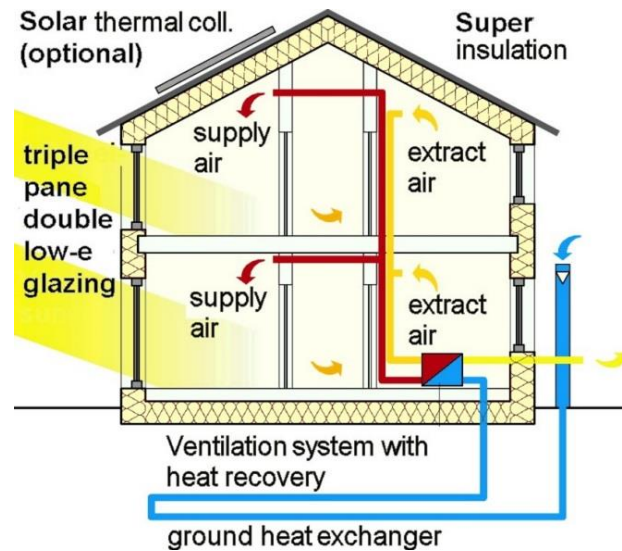
Trass i at det skal sjåast på eit hus prosjektert etter passivhusstandarden, er det likevel aktuelt å presentere dei byggtkniske forskriftene. Dette fordi dei må vere oppfylt for å lovleg få setje opp ein bustad i Noreg.

## 2.4.2 PASSIVHUSSTANDARDEN FOR BUSTADAR

*«Passivhus er kjent som miljøvennlige bygninger med meget høy kvalitet, godt inneklima og ekstremt lavt energibehov.»*

(NS, 3700:2013)

Bakgrunnen for namnet «passivhus» er henta frå måten ein ynskjer å redusere energibehovet i bygningar på – nemleg ved å nytte *passive* tiltak. Dette inneber blant anna ekstra isolasjon, gode vindauge, betre tettheit i bygningskonvoluttene og gjenvinning av varme som vert sloppe ut gjennom ventilasjonsanlegg. Figur 2-8 gjev ei god oversikt over tiltak som vert innført for å tilfredsstille passivhusstandarden. Den fyrste passivhusstandarden kom til Noreg i 2010, men det er den reviderte versjonen frå 2013 som gjeld i dag.



Figur 2-8. Døme på energieffektive og passive tiltak (Passivhaus Institut, 2006).

Mindre varme skal ut, og det som går ut skal utnyttast i størst mogleg grad ved å varme opp tillufta frå ventilasjonsanlegget. Fokus på lang levetid gjer òg bygningane meir berekraftige.

Passivhusstandarden presenterer fire overordna kriterium som skal tilfredsstillast:

1. Varmetapstal for transmisjons og infiltrasjonstap
2. Oppvarmingsbehov etter lokalt klima
3. Kjølebehov etter lokalt klima
4. Val av energiforsyning

Kriteria er skildra vidare med forklaring og kravsverdiane som er oppgjeve i NS 3700:2013.

Varmetapstalet,  $H''_{tr,inf}$ , uttrykkjer kor stort varmetilskot som er kravd per grad temperaturskilnad mellom ute og inne. I NS 3700:2013 er det definert som:

$$H''_{tr,inf} = \frac{H_{tr,inf}}{A_{BRA}} = \frac{H_D + H_U + H_g + H_{inf}}{A_{BRA}} \quad \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (4)$$

der:

$H_{tr,inf}$  er varmetransportkoeffisienten for transmisjon- og infiltrasjonsvarmetap [W/K]

$H_D$  er direkte transmisjonsvarmetap til det fri [W/K].

$H_U$  er transmisjonsvarmetap til soner som ikkje er oppvarma [W/K].

$H_g$  er direkte transmisjonsvarmetap mot grunnen [W/K].

$H_{inf}$  er infiltrasjonstap [W/K].

$A_{BRA}$  er oppvarma bruksareal, [m<sup>2</sup>].

Transmisjons- og infiltrasjonsvarmetapet skal reknast ut etter metode i NS 3031:2007. Merk at varmetap på grunn av ventilasjon ikkje er med i kravsverdien. Krav til varmetapstal i NS 3700:2013 er avhengig av oppvarma bruksareal, sjå Tabell 2-3 for krav til passivhus.

Tabell 2-3. Høgaste varmetapstal for transmisjons- og infiltrasjonstap (NS, 3700:2013).

	Varmetapstal for transmisjons- og infiltrasjonstap, $H''_{tr,inf}$ [W/m <sup>2</sup> K]		
Passivhus	Bustad, $A_{fl} < 100 \text{ m}^2$	Bustad, $100 \leq A_{fl} < 250 \text{ m}^2$	Bustad, $A_{fl} \geq 250 \text{ m}^2$
	0,53	0,48	0,43

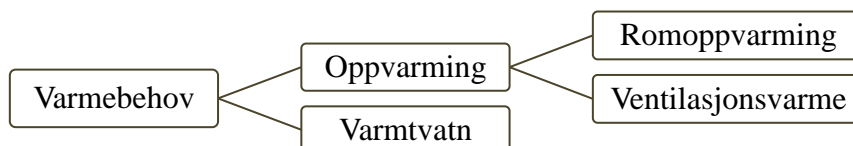
Tap av varme gjennom kuldebruer vert inkludert i varmetapstalet, og minstekrav til normalisert kuldebruverdi etter passivhusstandardane for bustadar og yrkesbygningar, høvesvis, NS 3700:2013 og NS 3701:2012, er samla i Tabell 2-4.

Tabell 2-4. Minstekrav til normalisert kuldebruverdi frå passivhusstandardane.

	Bustadar	Yrkesbygningar
Normalisert kuldebruverdi, $\Psi''$ [W/m <sup>2</sup> K] <sup>(c)</sup>	0,03	0,03
<sup>(c)</sup> Normalisert kuldebruverdi kan fråvikast ved oppussingsprosjekt der det er praktisk umogleg å tilfredsstille kravet. Det skal da dokumenterast at kuldebruer ikkje medfører problem med inn klima.		

Det er verdt å merke seg at kravet til den normaliserte kuldebruverdien for bustadar er likt for TEK10 og NS 3700:2013. Unntaket er at det er sett som eit minstekrav i passivhusstandarden. At Norsk Standard opererer med minstekrav, tyder at det ikkje gjev rom for omfordeling av kuldebrutap dersom den normaliserte kuldebruverdien skulle vere større enn kravet. Omfordeling av varmetap vert skildra meir i neste delkapittel.

Oppvarmingsbehovet omfattar oppvarming av rom og ventilasjonsvarme. Krav til høgaste netto spesifikt energibehov er avhengig av årsmiddeltemperatur og oppvarma bruksareal. Ved bruk av program som «TEK-sjekk Energi» vil krav til oppvarmingsbehov reknast ut automatisk med grunnlag i inndata, og samanlikna med aktuelt krav for bustaden.



Figur 2-9. Varmebehov definert etter NS 3700:2013.

Kjølebehov skal ikkje vere nødvendig. Målet er å utforme bygninga slik at termisk komfort oppnåast utan mekanisk kjøling av romluft, og/eller tilluft ved bruk av kjølemaskinar.

Energiforsyning skal i utgangspunktet bestå av andre ting enn elektrisitet og fossile brensel, og det er derfor sett krav om bruk av energivarer for passivhus. Dette inneber at årleg levert energi frå elektrisitet og fossilt brensel skal vere mindre enn totalt netto energibehov minus halvparten av netto energibehov til varmtvatn.

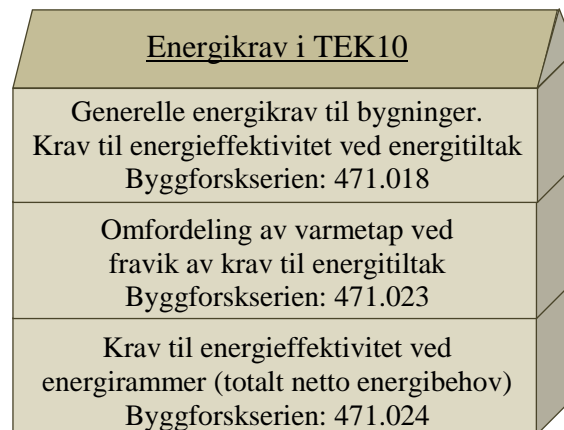
### 2.4.3 BYGGFORSKSERIEN

«Byggforskserien, byggenæringens kvalitetsnorm, angir dokumenterte løsninger som kan benyttes for å tilfredsstille funksjonskravene i Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK) til lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven).»  
(SINTEF Byggforsk, 2014)

Byggforskserien er eit hjelpemiddel for å sikre gode løysingar i bygningar, og anvisingane er oversiktlege og enkle å følge. Det kjem gode og lettforklarte dømer og framgangsmåtar for ulike «problem» ein kan risikere å møte ved bygging av hus. Trass i at løysingane i anvisingane er utforma for å tilfredsstille TEK10, er det òg utarbeida fleire anvisingar som er mynta mot utføring av passivhus. Dette er utnytta ved val av bygningsutforming seinare i oppgåva. Det ikkje er mange av dei valde løysingane som er nytta direkte frå anvisingane, men dei har vore med på å skapt eit bilete av utføring og eigenskapar som har vore grunnlag for endeleg val.

Innanfor Byggforskserien er det òg oppdretta eit Kuldebruatlas med tabellverdiar for om lag 30 typar kuldebruer. Atlaset er under kontinuerleg utvikling, men inneheld allereie no eit breitt spekter av tilslutningar med variasjonar innan utføringar.

Dei anvisingane som er retta mot energikrav i TEK10 er samla i Figur 2-10 frå Byggforskserien (471.018). Spesielt Byggforskserien 471.023 «Omfordeling av varmetap ved fravik av krav til energiltak» er aktuell. Anvisinga skildrar korleis ein kan fråvike enkelte av energikrava ved å omfordele varmetapet, med den føresetnaden at bygninga sitt varmetapstal ikkje aukar og minstekrav ikkje er overskriden.



Figur 2-10. Byggforskseriar som omfattar tilfredsstilling av energikrav i TEK10.

### 2.5 BAKGRUNNSSTOFF

Her vil det presenterast tidlegare studiar og arbeid som har vore relevante for denne oppgåva. Dette inkluderer eit notat laga til ei passivhuskonferanse, to masteroppgåver og prosjekt-oppgåva som er forstudien til denne masteroppgåva.

### **2.5.1 «KULDEBRUREKNESKAP OG VURDERING AV GEOMETRISKE KULDEBRUER FOR EIN BUSTAD PROSJEKTERT SOM PASSIVHUS»**

Svare (2014) si prosjektoppgåva tek utgangspunkt i problemstillingane:

1. Kva er realistisk normalisert kuldebruverdi for ein eksempelbustad prosjektert etter passivhusstandarden, og tilfredsstillar denne verdien kravet i NS 3700:2013?
2. Kor mykje utgjør dei geometriske kuldebruene i ein eksempelbustad prosjektert etter passivhusstandarden, og kva moglegheiter gjev dette?

Dette er forstudien til denne masteroppgåva, og funn her er bygd vidare på i denne oppgåva. Ein kuldebrurekneskap vart utført, i hovudsak ved å nytte kuldebrutabellar, og det var tydeleg at kravet til den normaliserte kuldebruverdien var for tøft. Varmetap i form av kuldebru frå skorsteinen utgjorde en stor prosent av det totale tapet, og det tyder på at han opphavleg ikkje er tenkt som ein del av kuldebrurekneskapen. Det geometriske bidraget frå kuldebruene viste seg å utgjere mykje av både utrekna normalisert kuldebruverdi, men òg av kravet i NS 3700:2013. Ved å utgjere over 1/3 av kravsverdien i standarden er det klart at det ikkje er mykje margin å gå på for varmetap i form av materialbidrag. Under kapittelet som omhandlar «vidare arbeid» kjem det fram at for å stadfeste funna med større sikkerhet er det ynskjeleg å gjere meir omfattande undersøkingar. Dette inneber blant anna numerisk utrekning av kuldebruverdiane i staden for å nytte kuldebrutabellar, men òg å ta for seg fleire bustadar.

### **2.5.2 «VINDUER FOR ENERGIEFFEKTIVE BYGNINGER»**

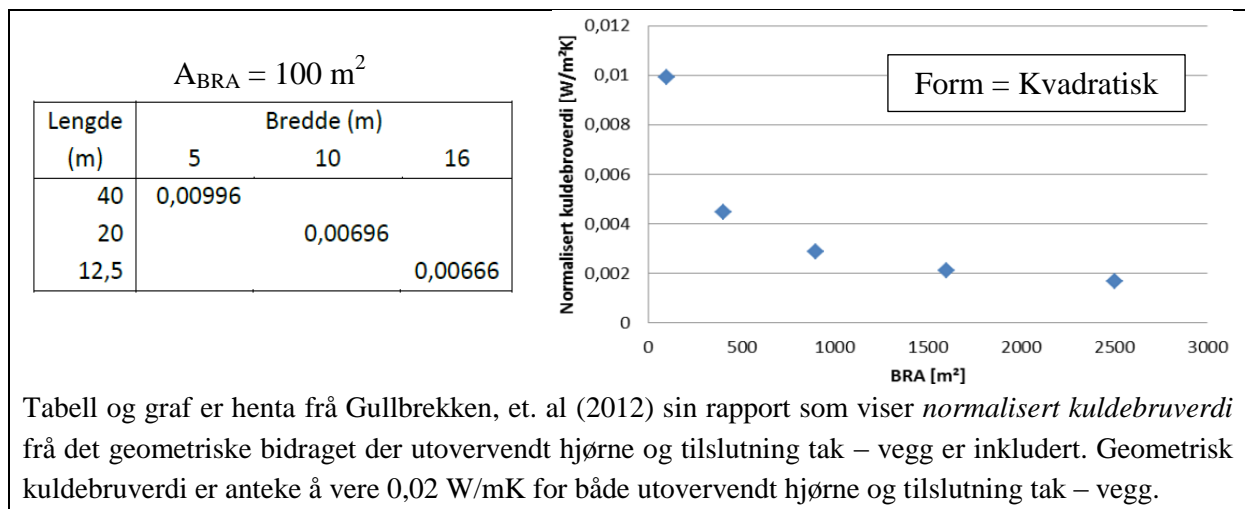
Masteroppgåva til Decheva (2012) omhandlar varmetap i form av kuldebruer ved innsetjing av vindaug i passivhus. Faktorar som plassering av vindaug, konstruksjons-, vindaugstype og val av materiale er blant det som er undersøkt. Hensikta var å finne ei optimal løysing som gjev ei kuldebrufri vindaugsinnsetjing. Det viser seg at riktig plassering av vindaug er eit av dei mest effektive tiltaka, der avstand frå utside vindspærre til karm bør vere 35 mm. Andre ting som påverkar varmetapet er mengde isolasjon i vegg, der større tjukk gjev større kuldebruverdi. Dette vil vere ei særskilt aktuell problemstilling for passivhus, som har mykje større isolasjonsmengde enn det som er vanleg i dagens konvensjonelle bustadar. Nokre tiltak som er nemnd for å kompensere for dette er oppföra vindaugsbrett med ekstra rom for isolasjon og isolasjon med lågare varmekonduktivitet under vindaugsbrettet (Decheva, 2012).

Desse funna vil verte nytta vidare, sidan dei gjev lette og konkrete tiltak for å betre kuldebruverdien rundt vindaug. Sidan vindaug ofte utgjør mange løpemetar totalt, er dette viktige tiltak for å kunne forbetre den normaliserte kuldebruverdien.

### **2.5.3 «GEOMETRISKE KULDEBRUERS INNVIRKNING PÅ NORMALISERT KULDEBRUVERDI»**

Gullbrekken, et al. (2012) sitt arbeide er av dei få studia som er gjort på geometriske kuldebruer og deira påverknad på den normaliserte kuldebruverdien. Rapporten tek for seg geometriske kuldebruer i utovervendte hjørne og tilslutninga vegg-tak i ein eksempelbustad. Rapporten vert laga på bakgrunn av den pågåande diskusjonen om kor mykje dei geometriske

kuldebruene utgjør av dei totale krava i NS 3700. Ved å nytte THERM for å undersøke kor mykje dei geometriske kuldebruverdiane bidreg med i den normaliserte kuldebruverdien, såg dei eit betydeleg bidrag til trass for at tilslutningar som vindauge, vegg-golv osv. ikkje var inkludert. Det vart i tillegg gjort ein parameterstudie der ein såg på innverknad av form og storleik på bustaden. Ved å fyrst halde  $A_{BRA}$  konstant medan ein endra på omkrinsen si lengde og bredde, kom det fram at ein tilnærma kvadratisk form var mest gunstig for å få ein lågast mogleg normalisert kuldebruverdi. I det andre tilfellet heldt dei forma konstant kvadratisk, medan oppvarma bruksareal vert auka. Den normaliserte kuldebruverdien vert lågare ettersom ein auka oppvarma bruksareal, noko som er konkludert med som eit paradoks ettersom kravet er strengare for bustadar enn for andre bygningar i følgje TEK10 § 14-3.



Figur 2-11. Endring av normalisert kuldebruverdi ved ending av bygningsform og  $A_{BRA}$ .

Denne rapporten gjev dermed eit grunnlag som viser at dei geometriske kuldebruene har eit betydeleg bidrag, eit bidrag ein ikkje vil klare å redusere ettersom det kjem av geometrien.

#### 2.5.4 «MOULD GROWTH IN BUILDINGS»

Doktorgradsavhandling utarbeida av Holme (2010) prøver å auke kunnskapen om muggvekst i bygningar. Det er ynskjeleg å finne moglege samanhengar mellom muggvekst og helseeffektar hjå menneske. Han skildrar at mange studiar fortel om fuktproblem som aukar risikoen for helseplager i form av luftvegssymptom, astma og allergi hjå vaksne og born, men at det ikkje er fokusert på kva som fører til dei rapporterte helseeffektane. Det kjem fram at muggvekst er avhengig av overflata det veks på, og at gran og sponplater har generelt større motstand enn kryssfiner og gips. Ved auke av relativ fuktigheit, RH, aukar utspringsvekst av muggsporer. For alle materiala testa i doktorgradarbeidet aukar òg utviklinga og styrke til muggveksten.

Nyare hus kjem best ut når det gjeld registrering av muggvekst. Det viser seg òg at det er særskild fordelaktig med mekanisk ventilasjon i forhold til naturleg eller ingen ventilasjon. Dette er aktuelt for denne oppgåva, ettersom eksempelbustadane der risiko for fukt skal vurderast er nybygde hus med mekanisk ventilasjon. Feltundersøkingane er gjort i norske og svenske hus,



og resultat vil derfor vere gode utgangspunkt for å samanlikne med eksempelbustadane vald i denne masteroppgåva.

I studien kom det fram at det ikkje var noko samanheng mellom muggsporekonsentrasjon i born sine soverom og astma/allergi hjå borna. Med andre ord indikerer dette at det kan vere andre faktorar enn muggsporer som er årsaken til negative helseeffektar i fuktige bygningar, og eventuell mugg ved kuldebruene vil dermed ikkje ha denne type påverknad på inneklimaet.

## **2.6 OPPSUMMERING**

Kuldebruer er framleis eit relativt nytt tema når det er sett i samanheng med bygging av hus. Det finnast i dag lite litteratur om kva som er realistiske verdiar for normalisert kuldebruverdi i småhus. Dette til tross for at det er ein kravsverdi som er sett i norske forskrifter og standardar og som må oppfyllest og dokumenterast for å lovleg setje opp ei bygning i Noreg. Geometriske kuldebruer er eit anna emne det hittil er gjort lite på. Sidan dette er varmetap ein ikkje klarer å unngå er det viktig å ha kunnskap om ved pressing av energibudsjett. Deira påverknad på det totale varmetapet frå kuldebruene har vist seg å vere betydeleg, og vidare undersøking er nødvendig.

Gjennom denne oppgåva er det ynskjeleg å dekkje noko av dette kunnskapsgapet. Målet er å skape meir og betre grunnlag for (fastsetjing av) kravsverdiar til kuldebruer som norske småhus skal tilfredsstillе.



### 3 METODAR FOR VURDERING AV KULDEBRUER

---

I dette kapitlet er metodane som er nytta for å vurdere kuldebruer presentert. Fyrste del omhandlar dei ulike metodane for å avgjere kuldebruverdi, før utdjuping av metoden som i hovudsak er nytta vidare er greidd ut om. Her er framgangsmåte, føresetnadar og avgrensingar presentert, men òg fordelar og ulemper med metodane.

I tillegg til direkte vurdering av kuldebruene sitt varmetap, er det sett på ringverknadar kuldebruene gjev for energibudsjett og risiko for fukt. Energibudsjettet er inkludert for å sjå den normaliserte kuldebruverdien i eit større perspektiv, og undersøke kva konsekvensar han gjev for varmetapstall, energibehov og energiforbruk. Risiko for fukt er undersøkt ved sjå om det er fare for låge overflatetemperaturar som kan gjeva kondens og mugg ved kuldebruene.

#### 3.1 GROVE METODAR FOR VAL AV KULDEBRUVERDI

I denne rapporten vil det i hovudsak nyttast éin metode for å finne kuldebruverdiar for bygningsdetaljane; numeriske utrekningar. Metoden er ein av fire i Standard Norge sine forskrifter for utrekning av lineær varmegjennomgangskoeffisient, sjå Tabell 3-1. Tabellen inkluderer òg forventa usikkerheit til kuldebruverdi ved bruk av dei ulike metodane.

Tabell 3-1. Usikkerheit ved metodar for å finne kuldebruverdi (NS-EN ISO 14683:2007).

Metode	Forventa usikkerheit for kuldebruverdi, $\Psi$ .
Grovestimering/normalverdiar	$\pm 0-50$ %
Manuell utrekning	$\pm 20$ %
Kuldebrutabell	$\pm 20$ %
Numeriske utrekning	$\pm 5$ %

Det er kort greia ut om grovestimering/normalverdiar, manuell utrekning og kuldebrutabell, deretter ei meir grundig innføring i numerisk utrekning og korleis det er nytta i denne oppgåva. Val av metode vil vere eit spørsmål om behov og tilgjengelege ressursar. Er det nødvendig å lage eit komplett kuldebrurekneskap basert på numeriske utrekningar, eller er det tilstrekkeleg å nytte grovestimering eller kuldebrutabellar for å lage eit overslag? I tidlegfasen til eit prosjekt vil kanskje det sistnemnde vere nok, men for dokumentasjon av til dømes passivhus krevjast full utrekning av normalisert kuldebruverdi.

##### 3.1.1 GROVESTIMERING/NORMALVERDIAR

Grovestimering er grove anslag som må vere på den sikre sida. Dette gjer at dei er mest nytta tidleg i ein projekteringsituasjon, der eit slik grunnlag er tilstrekkeleg. Kuldebruene vert klassifisert etter gruppe avhengig av kritisk isolasjonstjukk, som er tjukna til det materialet med minst isolasjonsevne rundt kuldebrua (Byggforskserien, 471.016). Kuldebruverdiar for bygningstilslutningar finn ein i register med førehandsutrekna verdiar, og desse viser verste tilfelle for ulike konstruksjonsdetaljar. Døme på dette er Table A.2 – Default values of linear

thermal transmittance i NS-EN ISO 14683:2007. Fordelen med denne metoden er at han er lite tidkrevjande, men dette går utover nøyaktigheita i dei valde verdiane. Dette vil vidare gjeva konsekvensar for den normaliserte kuldebruverdien.

### **3.1.2 MANUELL UTREKNING**

Framgangsmåten for å utføre manuelle utrekningar er å lage ein kretsmodell basert på ei samankopling av dei enkelte varmemotstandane i bygningsdetaljane. Dette er mest aktuelt for enkle konstruksjonar, ettersom det er arbeidskrevjande for meir kompliserte tilslutningar (Byggforskserien, 471.016). Ulempa med denne metoden er at det er særers vanskeleg å avgjere nøyaktigheita ved verdiane ein får ut. Dette er ein konsekvens av at dei fleste manuelle utrekningane berre gjeld for ei spesifikk type kuldebru, og dette gjer utrekninga nøyaktig berre for eit visst utval (NS-EN ISO, 14683:2007).

### **3.1.3 KULDEBRUTABELL**

Kuldebrutabellar er oppslagsverk med faste parametrar som til dømes dimensjonar og material. Resultatet vert meir nøyaktige kuldebruverdiar enn ved å nytte grovestimering, men er mindre fleksibelt enn numeriske utrekningar. SINTEF har, med støtte frå Enova, utarbeida eit Kuldebruatlas som inneheld kuldebruverdiar for fleire ulike tilslutningar mellom vanlege bygningsdelar. Kuldebruatlasen har per dags dato om lag 30 ulike anvisingar som dekker vanlege løysingar for hjørne, etasjeskiljar, tak, golv på grunn og skorstein. Desse gjev nøyaktige verdiar dersom ein finne detalj tilsvarande faktisk forhold, men ofte er det avvik. Dette vert avspegla i Tabell 3-1, der kuldebrutabellar gjev ei forventet usikkerheit på  $\pm 20\%$ . Dette er sjølvstøtt ei ulempe når mange verdiar skal leggjast saman. I verste fall kan ein tenkje seg at usikkerheita akkumulerast og vert samla i den totale verdien for normalisert kuldebruverdi, ein kravsverdi som frå før har lite margin og gå på.

På den positive sida er det å nytte Kuldebruatlasen fordelaktig tidsmessig. Dette er ein konsekvens av eit avgrensa utval for dei ulike tilslutningane, og ein ser fort kva løysingar som passar best. I dei fleste tilfella er løysingane etter «standard» utføring for småhus, og fleire av løysingane passar derfor bra med det mange ynskjer å rekne på. Det avgrensa utvalet er òg naturleg nok eit problem når ein ynskjer noko anna enn standard utføringar. Dette er gjerne eit tilfelle for passivhus, der det kan vere ynskje om å nytte andre, utradisjonelle løysingar for til dømes ringmur.

## **3.2 NUMERISK UTREKNING AV KULDEBRUVERDI**

Fordelen med å nytte numeriske utrekningar er moglegheita det gjev til å atterskape faktiske forhold. Dette vert spegla av i den låge usikkerheita til utrekna kuldebruverdi, vist i Tabell 3-1. Numeriske utrekningar er her gjort i simuleringsprogrammet THERM 7.2, og er i samsvar med dei interne retningslinjene SINTEF har for utrekning av kuldebruer. Retningslinjene er eit notatet utarbeida av Høilund-Kaupang, et al. (2013). Sidan notatet tek utgangspunkt i dei same prinsippa som er nytta i Kuldebruatlasen, er det sikra eit heilskapleg samsvar mellom verdiar rekna ut i THERM og dei frå Kuldebruatlasen. Utrekningane er òg i

samsvar med Norsk Standard sine retningslinjer for utrekning av energiyting i bygningar, NS 3031:2014.

### **3.2.1 FORDELAR OG ULEMPER**

I THERM vil ein kunne teikne modellar som er tilnærma identiske med faktiske forhold, og ein konsekvens av dette er at forventta usikkerheit for numeriske utrekningar er så låg som  $\pm 5\%$ . Trass i fordelane med låg usikkerheit og betre kontroll over det ein reknar på, er det òg ulemper. Det er meir tidkrevjande å skaffe verdiane, og det krev meir av den som skal gjere modelleringa og utrekningane. Feil i modellering eller ved utrekning kan òg vere tilfelle, for det er mykje som skal haldast styr på og mange verdiar som skal inkluderast. For å unngå feil og manglar er det viktig å halde god oversikt. Som kontrollsjekk kan dei utrekna verdiane samanliknast med liknande konstruksjonsdetaljar med kjend kuldebruverdi frå til dømes kuldebrutabellar.

### **3.2.2 FRAMGANGSMÅTE**

Etter å ha teikna ein modell i THERM og lagt inn verdiar for varmekonduktivitet og grenseverdiar (overgangsmostrar og temperatur), kjem det ut verdi for total varmestraum [W/mK] gjennom tilslutninga. Deretter må varmetap frå dei «perfekte» delane omtala i «2.2.1 Kuldebruverdi» trekkjast frå den totale varmestraumen, og den lineære kuldebruverdien kan reknast ut.

For punktkuldebruer får ein ut kuldebrutapet [W/K] direkte, ettersom dei ikkje har noko utstrekning i form av lengde. Desse er ikkje omtalt i SINTEF sine interne retningslinjer, og i denne rapporten vil det berre verte nytta tabellverdiar for punktkuldebruer.

### **3.2.3 FORENKLINGAR**

Det er gjort forenklingar ved modelleringa i THERM som gjer bygningsdelane lettare å arbeide med. Dette inneber blant anna at følgjande bygningsmaterial har vorte ekskludert, ettersom dei gjev minimalt bidrag til den totale varmemotstanden:

- Dampsperre i vegg, tak og golv
- Radonmembran i golv
- Konveksjonssperre mellom mineralull i vegg
- Asfaltbelegg på tak
- Luftsjikt og nedfôra himling i tak

Ruta i vindaugskonstruksjonen er erstatta med isolasjon med varmekonduktivitet  $\lambda = 0,035$  W/mK i simuleringane som er gjennomført i THERM. Dette er i samsvar med framgangsmåte i NS-EN ISO 10077-2:2012, annex C.1 ved utrekning av varmegjennomgang av rammedelen av vindauget. Trass i at dette gjev endringar i vindauget sin U-verdi,  $U = 0,72$  W/m<sup>2</sup>K, vert det antekje at utrekna kuldebruverdi er realistisk.

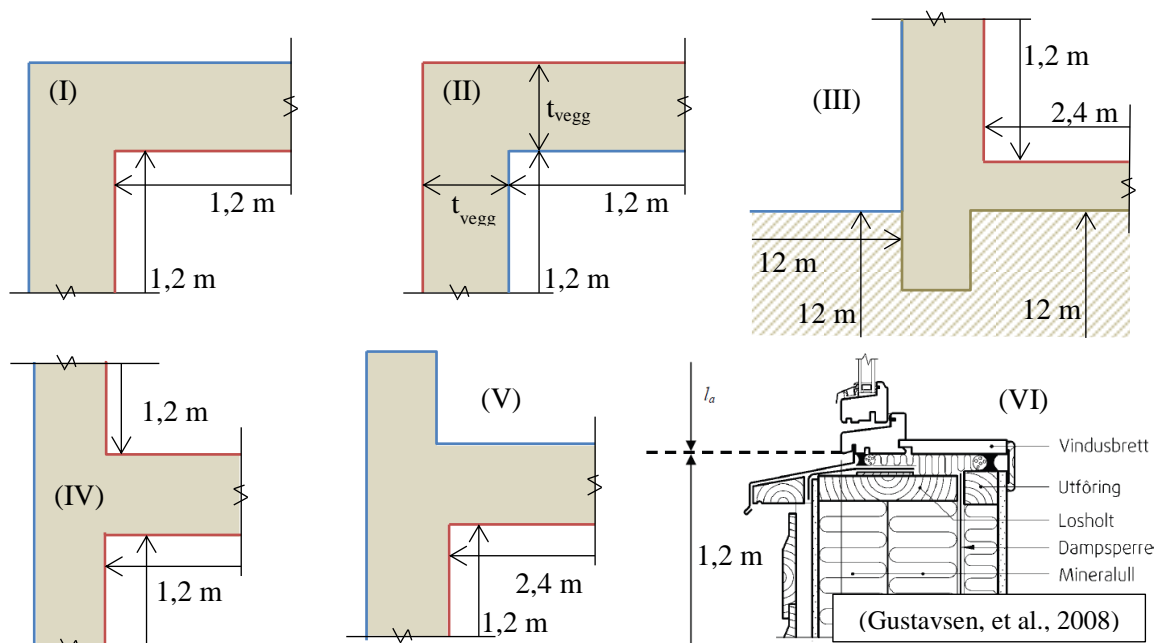
Markisolasjon ved golv på grunn er lagt oppe i dagen, ettersom dette skildrar «verst tenkjeleg tilfelle». Dette er i samsvar med SINTEF sine utrekningsmetodar av kuldebruverdiar ved golv på grunn (Høilund-Kaupang, et al., 2012).

Når dei geometriske kuldebruene skal modellerast er det funne ekvivalent varmekonduktivitet til bygningsdelane parapet, vegg, tak og golv ved å rekna dei om til legerte sjikt. I praksis vil dette seie at desse konstruksjonsdelane får kvar sin varmekonduktivitet, der dei materialbidraga som er inkludert i U-verdien vert innbakt. Sidan det berre skal sjåast på det geometriske bidraget vert dette ein akseptert føresetnad. Det er framleis veldig lite som er gjort rundt vurdering og utrekning av geometriske kuldebruer, og det er dermed heller ingen fasit for «korrekt» framgangsmåte enda.

### 3.2.4 VAL AV LENGDER VED MODELLERING

Ved modellering i THERM vil val av lengder vere viktig for å lage ein tilfredsstillande modell å rekne på. Sidan ein ikkje teiknar heile bygget, berre dei enkelte tilslutningane, vel ein ei adiabatisk grense ved «enden» der fortsetjing av konstruksjonsdelen eigentleg skulle vore. Her må varmestramen vere lineær for at dette skal vere ei godkjent føresetnad.

Det er teke utgangspunkt i SINTEF sine interne retningslinjer (Høilund-Kaupang, et al., 2013) for val av lengder, og dette er samla i Figur 3-1 for dei bygningsdelane som skal reknast numerisk.



Figur 3-1. Prinsipp for lengder nytta ved numerisk utrekning av kuldebruverdiar.  
 (I) Utovervendt hjørne (horisontalt snitt), (II) innovervendt hjørne, (III) golv på grunn,  
 (IV) etasjeskiljar, (V) tilslutning mellom tak og vegg og (VI) tilslutning, vindaug-vegg.

Lengdene til hjørne, tak og vindaug er enno ikkje utarbeida i dei interne forskriftene til SINTEF, så for desse er det gjort egne vurderingar. Lengde vegg som skal inkluderast ved modellering er sett til 1,2 m for både hjørne, tak og vindaug. Sidan dette er lengda som er

nytta for vegg i både etasjeskiljar og tilslutning vegg-golv i forskrifta, er dette ein naturleg føresetnad. For lengde til vegg som går opp til taket, reknast ho til underkant av nedfora himling. Dette er i samsvar med dei retningslinjene som er gjeve i NS 3031:2014 for totale innvendige mål som referanse. Når det gjeld horisontal lengde av tak, er det her vald same lengde som for golvet; 2,4 m. Avstanden reknast frå innvendig side av yttervegg og innover i rommet. Lengder for vindaug er henta frå Gustavsen, et al. (2008) sin rapport som blant anna inneheld utrekning av kuldebruverdiar. Lengde vegg er definert frå underkant av karm, og mellomrommet mellom karm og losholtane vert dermed inkludert i veggens lengde/areal.

Som indikator på at dette er eit fornuftig val, kan ein sjå om varmetraumen ser lineær ut ved simulering. Dersom dette er tilfelle er det realistisk å setje adiabatisk grenseverdi i endane av dei valde lengdene.

### **3.3 ENERGIBUDSJETT**

Den normaliserte kuldebruverdien er ein liten del av alt som skal kontrollerast når energibruk og varmetap vert vurdert for ein bustad prosjektert som passivhus. For å sjå på ringverknadar den normaliserte kuldebruverdien gjev, vil bustadane vurderast i energiberekningsprogrammet «TEK-sjekk Energi». Dette er eit Excel-basert program der følgjande informasjon vert kategorisert og lagt inn:

1. Generelt
  - Type utrekning (kva krav skal bustaden skal kontrollerast mot)
  - Ytre klima
2. Bygninga
  - Dimensjonar
  - Bygningskropp
  - Ventilasjon
  - Klimatisering
  - Belysning
3. Konstruksjonstype (golv, vegg og tak med U-verdi)
4. Type vindaug/dører
5. Fasade/bygningskropp (plassering av vindaug/orientering)
6. Energiforsyning

Etter at alt er fylt inn får ein ut tabelloversikt over varmetapsbudsjett, energibehov og energiforsyning. I tillegg kjem det ut eit samandrag som skildrar korleis bustaden har klart seg opp mot krava det vert kontrollert mot. Dei aktuelle verdiane vil verta samla opp for kvar eksempelbustad, og sett opp i ein tabell mot kvarandre for lettare å kunne samanlikne.

Ved å gjere dette ser ein kor mykje endring i normalisert kuldebruverdi og bygningsutforming påverkar energibudsjettet. Det vil òg vere mogleg å studere om krav til energibehov og varmetap kan oppfyllast sjølv om kanskje ikkje krav til normalisert kuldebruverdi er tilfredsstillt, dersom det skulle vere tilfelle.

Areal og lengder til veggar og vindauge er henta ut frå planteikningane som høyrer til eksempelbustadane. Dette er gjort ved å nytte måleverkty i Adobe. Teikningane vart tilsendt frå Norgeshus sin tekniske sjef, Snorre Bjørkum.

Programmet har ei tilhøyrande rettleiing frå Byggforskserien (472.212) som har vorte nytta som støtte, «Bruksanvisning og energiberegningsprogrammet TEK-sjekk Energi».

### **3.4 RISIKO FOR FUKT**

Ved å sjå på risiko for kondens og muggvekst, vert det kartlagt om kuldebruene har ei negativ påverknad av inneklimate i form av uynskt fuktproblem. Med andre ord gjev denne vurderinga eit bilete på om konsekvensomfanget av kuldebruene kan knytast opp til faktiske hendingar, og ikkje berre tal og verdiar som skal samanliknast med krav i standardar. Det er fleire ulike måtar å vurdere risiko for fukt på, og ulike metodar gjev ulike resultat. Metodane har ulik grad av nøyaktigheit. Val av metode vil vere eit avhengig av tilgjengeleg informasjon og nødvendig nøyaktigheit/sikkerheit. Typa material som er utsett for fukt vil òg vere relevant.

For å vurdere faren for kondens og muggvekst er Byggforskserien (471.111) «Beregningsmetode for å unngå kondens eller muggvekst på innvendige overflater» nytta. Prinsippet for metoden går ut på å sjå om temperaturfaktor for konstruksjonen,  $f^*$ , er større enn eller lik dimensjonerande temperaturfaktor,  $f_{dim}$ . Nødvendig informasjon er fuktklasse, utetemperatur og lågaste tre-døgns middeltemperatur.

På grunn av tidsbruk og tilgjengeleg datagrunnlag, er det nytta forenkla metode ved variabel RF inne. Forenkla metode er basert på diagram laga etter bruk av fullstendig utrekning. Verdiar frå forenkla metode vil ofte vere høgare enn ved fullstendig utrekning, sidan dei er gjort med god margin til sikker side. Denne metoden vil vere «bra nok» for dei vurderingane som skal gjerast for fukt i denne oppgåva, ettersom målet berre er å skape eit overordna bilete av fuktomfanget rundt kuldebruene.



## 4 EKSEMPELBUSTADANE

For finne normalisert kuldebruverdi trengs blant anna omkrins av grunnflate og vindauge og oppvarma bruksareal. Som grunnlag for desse verdiane er det vald fire kataloghus frå Norgeshus. Desse eksempelbustadane er vald med utgangspunkt i at kuldebruene skal testast på ulike bygningsutformingar og -kroppar for å sjå korleis dette påverkar den normaliserte kuldebruverdien. Det er plukka ut bustadar med éin og to etasjar, med ein kombinasjon av kompakt og ikkje-kompakt bygningskropp. «Ikkje-kompakt» bygningskropp samsvarar med bustadar utforma med innovervendte hjørne. Dette gjev ein geometri ulik den kompakte, rektangulære forma. Sjå Tabell 4-1 for val av kataloghus med omsyn på bygningsutforming.

Tabell 4-1. Val av kataloghus, fordelt på ynskja bygningsutforming.

	Med innovervendte hjørne	Rektangel/kompakt
To etasjar	Asplund	Bris
Éin etasje	Heia	Heimen



Figur 4-1. Kataloghuset Asplund (Norgeshus, 2015b).



Figur 4-2. Kataloghuset Bris (Norgeshus, 2015c).



Figur 4-3. Kataloghuset Heia (Norgeshus, 2015d).



Figur 4-4. Kataloghuset Heimen (Norgeshus, 2015e).

Eksempelbustaden Asplund var òg nytta i prosjektoppgåva. Der er han kalla Demohuset, i samsvar med «Prosjektrapport 105» som var utgangspunkt for prosjektoppgåva ved utforming av ein kuldebrurekneskap. «Demohuset» og «Asplund» er i utgangspunktet same bustad, men Demohuset samsvarar med eksempelbustaden i prosjektoppgåva, medan Asplund med den som vert nytta her i masteroppgåva. Skilnaden vil vere ulike byggesystem. Asplund er ein «oppgradert» versjon av Demohuset, prosjektert for å tilfredsstille passivhusstandarden sitt krav til normalisert kuldebruverdi for bustadar.

#### 4.1 FØRESETNADAR FOR EKSEMPELBUSTADANE

For å forenkle prosessen vidare er det gjort føresetnadar som gjeld for alle eksempelbustadane. Det fyrste er at det er vald bustadar som er bygd på flatt terreng for å gjere det enklare å rekne ut kuldebruverdiane. Dette vil òg vere verste tilfelle, ettersom terreng mot vegg vil isolere meir enn friluft. Det er antekt at bustadane er bygd på lausmasser (sand og grus). Vidare er alle bustadane bygd opp med tre som hovudbæring, som er det vanlege valet i Noreg ved bygging av småhus. Lokalisasjon for bustadane er sett til Oslo.

Småhus som bygningstype er eit bevisst val. Desse har eit relativt lite oppvarma bruksareal samanlikna med til dømes kontorbygg og andre offentlege bygg. Dette slår negativt ut for den normaliserte kuldebruverdien. Når ein samanliknar med rekkjehus eller bustadar i blokker, vil ein ha minst ei side av klimaskjermen som er tilknytt ein anna bustad. Dette gjev færre løpemeter med kuldebru, trass i at oppvarma bruksareal kan vere det same, og dette er gunstig for å oppnå ein låg normalisert kuldebruverdi.

Når det gjeld val av kuldebruverdi for taka, vert alle modellert som eit kompakt flatt tak med parapet. Utdjupande forklaring kjem under val av byggjesystem. Dette er ei forenkling som er gjort for å redusere arbeidsmengde ved modellering, men er akseptabelt ettersom husa med saltak er utforma med kaldt loft.

Dei to bustadane som er vald med kompakt bygningskropp, Bris og Heia, har eigentleg vindfang ved ytterdøra, men dette er neglisjert for å få fram ytterpunktta med kompakt vs. ikkje-kompakt bygningsutforming. Det er heller ikkje teke omsyn til garasjen som er tilknytt Heia, og ytterveggen mellom garasjen og huset er vurdert som mot friluft.

#### 4.2 GEOMETRI I EKSEMPELBUSTADANE

Planteikningar for bustadane er samla i Vedlegg B, og er motteke frå Norgeshus sin tekniske sjef, Snorre Bjørkum. Sidan teikningane er i målestokk, er lengder og liknande henta ut frå desse ved å nytte måleverktyet i Adobe. Samandrag av nødvendig geometrisk inndata er samla i Tabell 4-2.

Tabell 4-2. Lengder og areal til dei valde eksempelbustadane.

Kva	Eining	Asplund	Bris	Heia	Heimen
Oppvarma bruksareal, $A_{BRA}$	$m^2$	166,6	189,4	143	89,9
Omkrins av hus	m	42	40,2	52,3	39,1
Innvendig høgde, per etasje	m	2,4			
Total innvendig høgde	m	5,2		2,4	
Total omkrins, vindauga	m	103,8	150	70	40,4
Total omkrins, dør	m	6,2	12,4	12,4	18,6
Innovervendte hjørne	stk.	3	0	6	0
Utovervendte hjørne	stk.	7	4	10	4

## 5 INNGANGSVERDIAR OG MATERIALDATA

Dette kapitlet presenterer temperaturane og overgangsmotstandane som er nytta for å finne kuldebruverdiar, U-verdiar osv. Vald varmekonduktivitet for dei ulike materiale som er nytta i eksempelbusstadane er samla i ein tabell.

### 5.1 TEMPERATURAR

Når grensetilstandar skal veljast for bygningsdelane i THERM legg ein inn kva temperaturar som er tilfelle på varm og kald side, altså inne og ute. I denne rapporten er det vald temperaturar som vist i *Tabell 5-1*, med grunngevinga at dette er temperaturane som vanlegvis vert nytta når ein skal rekne på kuldebruer (Gustavsen, et al., 2008).

*Tabell 5-1. Val av temperaturar.*

Lokalisering	Temperatur
Utvendig, $\theta_e$	0 °C
Innvendig, $\theta_i$	20 °C

### 5.2 OVERGANGSMOTSTAND

Overgangsmotstandar er vald etter Norsk Standard sine utrekningsmetodar for varmemotstand og varmetap (6946:2007), sjå *Tabell 5-2*.

*Tabell 5-2. Overgangsmotstand etter NS-EN ISO 6946:2007.*

Overflate	Eining	Varmestraumretning		
		Oppover	Horisontalt	Nedover
Innvendig, $R_{si}$	[m <sup>2</sup> K/W]	0,10	0,13	0,17
Utvendig, $R_{se}$	[m <sup>2</sup> K/W]	0,04	0,04 <sup>(*)</sup>	0,04

<sup>(\*)</sup> I samsvar med standarden sin metode vil horisontal, utvendig overgangsmotstand setjast lik horisontal, innvendig overgangsmotstand, med den føresetnad at verdien inkluderer motstanden ei lufta kledning vil ha. Med andre ord:  $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

### 5.3 DIMENSJONERANDE VARMEKONDUKTIVITET

Verdiane er vald med omsyn på at eksempelbusstadane er prosjektert som passivhus, og dermed har høge krav til materiala og deira eigenskapar. Val av verdiar er innanfor det som er nytta som utgangspunkt i 472.-serien i Kuldebruatlasat. Dette er viktig sidan tal frå numeriske utrekningar og tabellverdiar skal nyttast i same samanlikningsgrunnlag, og same bakgrunnsdata vil dermed vere essensielt. Verdiane er nytta dersom ikkje anna er kommentert.

Tabell 5-3. Verdier for varmekonduktivitet,  $\lambda$ .

<b>Materiale</b>	<b><math>\lambda</math> [W/mK]</b>	<b>Referanse</b>
PUR i Iso3-stender	0,03	(SINTEF Certification, Nr. 2610)
Trevirke i Iso3-stender	0,12	(SINTEF Certification, Nr. 2610)
Legert verdi til isolert bindingsverk med 300 mm Iso3-stender	0,035	Vedlegg C
Legert verdi til isolert bindingsverk av heiltre i parapet, 6 % treandel	0,039	Vedlegg C
Legert verdi til 50 mm påføring, 8 % treandel	0,041	Vedlegg C
Trevirke	0,13	(Byggforskserien, 471.010)
Mineralull	0,033	(Byggforskserien, 471.010)
EPS i tak og golv	0,035	(Byggforskserien, 471.010)
EPS i ringmurselement	0,035	(SINTEF Certification, Nr. 2144)
Markisolasjon	0,034	(Glava, 2015a)
OSB-plater	0,14	(Byggforskserien, 471.010)
Sponplate, 600 kg/m <sup>3</sup>	0,13	(Byggforskserien, 471.010)
Trinnlydsplate	0,05	(Hunton, 2014a)
Vindsperre	0,048	(Hunton, 2014b)
Gipsplater	0,20	(Byggforskserien, 471.010)
Sementpuss	1,0	(Byggforskserien, 471.010)
Betong	2,5	(Byggforskserien, 472.051)
Jord	2,0	(Byggforskserien, 471.010)
Aluminium	230	THERM 7.2
Gummi, butyl (botnfyllingslist)	0,24	THERM 7.2
Frame cavity, slightly ventilated	0,2213	THERM 7.2
Frame Cavity – CEN Simplified	0,0902	THERM 7.2

## 6 VAL AV BYGGJESYSTEM

Val av byggesystem har vore ein omfattande prosess. Målet var å skape eit småhus som tilfredsstillar krav sett i passivhusstandarden for bustadar, NS 3700:2013. Dette gjev utfordrande krav til isolasjonsevne og lufttettleik ved utforming av bygningsdetaljane. Standarden inneheld både minstekrav og typiske verdiar til blant anna bygningskomponentar. Dei som er relevante for oppgåva er samla i Tabell 6-1.

Tabell 6-1. Verdiar for U-verdi og minstekrav til bygningskomponentar i NS 3700:2013.

Eigenskap	Typiske verdiar	Minstekrav
U-verdi, yttervegg <sup>a</sup>	0,10 – 0,12	-
U-verdi, tak <sup>a</sup>	0,08 – 0,09	-
U-verdi, golv <sup>a, b</sup>	0,08	-
U-verdi, vindauge og dør <sup>a</sup>	-	$\leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Normalisert kuldebruverdi <sup>c</sup>	-	$\leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$
<sup>a</sup> U-verdi skal reknast ut som gjennomsnittsverdi.		
<sup>b</sup> U-verdi for golv på grunn er ein ekvivalent varmegjennomgangskoeffisient som inkluderer varmemotstanden i grunnen og reduserer varmetransport gjennom golv mot uoppvarma rom/soner.		
<sup>c</sup> Normalisert kuldebruverdi kan fråvikast ved oppgraderingsprosjekt der det er praktisk umogleg å tilfredsstille kravet. Det skal da dokumenterast at kuldebruer ikkje vil medføre problem for innklimaet. <i>Dette vil ikkje vere aktuelt i denne oppgåva, som dreiar seg om nybygg.</i>		
Merknad 1: I tillegg til krav sett her skal bygninga oppfylle minstekravet i forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK 10).		
Merknad 2: Ei bygning der bygningsdelar er innanfor minstekravet vil ikkje nødvendigvis tilfredsstille krava knytt til varmetapstall og utrekna netto energibehov til oppvarming.		

Det fyrste delkapittelet forklarar utgangspunktet saman med val av framgangsmåte, før sjølve byggesystemet presenterast. Kuldebruverdiane vert presentert fortløpande ettersom tilhøyrande byggjedetalj er greidd ut om. Val av utforming er skildra saman med vurderingar som ligg til grunn for valet. For kvar av kuldebruene vil det gjerast ei samanlikning mellom kuldebruverdiane vald her og dei nytta i prosjektoppgåva. Det siste delkapittelet omhandlar dei geometriske kuldebruverdiane, for å seinare kunne sjå kor mykje av varmetapet frå kuldebruene som oppstår på grunn av geometrien og ikkje materialet.

### 6.1 UTGANGSPUNKT

Målet med val av byggesystem, er å konstruere ein bustad som oppfyller passivhuskravet til normalisert kuldebruverdi,  $\Psi'' \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . For å gjere dette er det teke utgangspunkt i å forbetre byggesystemet til Demohuset frå prosjektoppgåva. I prosjektoppgåva vart kuldebruerekneskapan for Demohuset sprengd, sjå Tabell 6-2. Det var tydeleg at endringar måtte til for

å få eksempelbustaden til å oppfylle kravet. Fordelen med eit slik utgangspunkt er moglegheita til å sjå forbettringspotensiale i opphavlege bygningsdetaljar, i staden for å måtte byrje heilt frå botnen.

Tabell 6-2. Kuldebrurekneskap for Demohuset,  $A_{BRA}=166,6 \text{ m}^2$  (Svare, 2014).

Tilslutning	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_i$	Kuldebru-tap, $X_i$
	[lm]	[W/mK]	[W/K]
Vegg - golv	42	0,061	2,562
Utovervendt hjørne	36,26	0,033	1,197
Innovervendt hjørne	15,54	-0,061	-0,948
Vindauge - vegg	103,8	0,008	0,830
Dør - vegg	6,2	0,02	0,124
Etasjeskiljar	42	0	0
Vegg - tak	42	0,060	2,520
Skorstein	-	-	2,809
Andre kuldebruer	-	-	~ 0
Sum kuldebrutap, med skorstein, $X_{tot} = \sum \Psi_i * l_i + \sum X_i$			9,084
Normalisert kuldebruverdi, $\Psi''$ [W/m <sup>2</sup> K]	Inkludert skorstein		0,055
	Eksklusiv skorstein		0,038

Byggjesystemet til Demohuset var i stor grad basert på kva detaljar som var i Kuldebruatlasen. Etersom det var ynskjeleg å nytte tabellverdiar til å finne kuldebruverdi, kravde dette at det var samsvar mellom prosjekterte løysingar og det som allereie var utarbeida i atlasen. Noko av teikningsgrunnlaget, som til dømes taket, var henta frå SINTEF sin Prosjektrapport 105 utarbeidd av Myhre, et al. (2012a). Dette er ei rettleiing til prosjektering av passivhus, der Demohuset vart nytta som eksempelbustad. Norgeshus sine teikningar frå prosjekterte bygg var òg til hjelp og rettleiing ved val av byggjesystem for Demohuset i prosjektoppgåva.

Prosessen med å forbetre byggjesystemet og dei spesifikke detaljane var omfattande og tidkrevjande arbeid. Det har vore mykje prøving og feiling for å sjå kva som fungerte og ga reduserte kuldebruverdiar.

Det har vore fokus på at løysingane og tilslutningane skal passe saman. Det heile skal fungere som eit «ekte» hus, og ikkje berre vere ulike komponentar som er sett saman for å oppnå pene tal for kuldebruverdiane. Målet er at Asplund skal tilfredsstillere passivhuskravet til normalisert kuldebruverdi. Vidare i oppgåva vil byggjesystemet, med tilhøyrande kuldebruverdiar, nyttast for å vurdere normalisert kuldebruverdi til dei tre andre småhusa. Husa har ulik utforming av bygningskroppen, og dette er eit bevisst val for å sjå korleis dette påverkar normalisert kuldebruverdi. Det at alle bustadane har same byggjesystem, og dermed same kuldebruverdiar, gjer at samanlikningsgrunnlaget vert sikra og konsekvens av endring i areal kjem

enda tydlegare fram. Hensikta er å skape eit grunnlag for å vurdere om kravet sett til normalisert kuldebruverdi er realistisk eller ikkje for variasjonane.

Fuktsikring, lufttetting, effektiv bygging, material- og byggjekostand er faktorar som i liten eller ingen grad har vorte vurdert når premiss for val av byggjesystem vart gjort. Dette er eit bevisst val for å avgrense mengde arbeid.

## **6.2 YTTERVEGG**

Ytterveggen utgjør ein stor del av arealet som skil innemiljø frå utvendig klima, spesielt for hus som strekkjer seg over fleire etasjar. Det er derfor viktig å avgrense varmetapet frå veggane for å redusere energibehovet. Vidare vil ulike bindingsverk presenterast, med oppbygging og U-verdiar, for så å velje det mest føremålstenlege for eit småhus prosjektert til passivhusnivå. Deretter vil det sjåast på detaljløysingar for hjørne og etasjeskiljar mot oppvarma rom, og deira kuldebruverdiar.

### **6.2.1 BINDINGSVERK**

Total tjukn av isolert bindingsverk er bestemt til 350 mm, og av desse er 50 mm påføring. Innvendig påføring er ei vanleg løysing i dag, sidan dette gjev moglegheit til å trekkje dampsperra inn i veggen. Dermed unngår ein risiko for perforering av dampsperra ved installering av skjult elektrisk anlegg og betre lufttetting sikrast. Maksimum  $\frac{1}{4}$  av isolasjonen bør monterast på varm sida av dampsperra for å unngå kondens. Dette oppnår ein ved å montere dampsperre mellom bindingsverk og påføring. Isolasjonssjiktta bør delast opp for å unngå auka sirkulasjon av lufta, som er tilfelle for isolasjonstjukner større eller lik 200 mm. Ved å inkludere ei konveksjonssperre som er lufttett og dampopen, vanlegvis i form av papirbelagt isolasjon er det mogleg å oppnå dette. Sidan eksempelbusstadane skal prosjekterast som passivhus er det naturleg å nytte isolasjon med høg kvalitet og låg varmekonduktivitet. I dette tilfellet er det vald mineralull med  $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ .

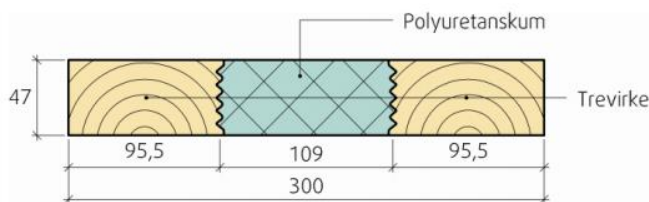
Dersom ein har føresetnad om stenderavstand c/c 0,6 m, enkel topp- og botnsvill, einebustad med romhøgde 2,4 m og totalt areal av vindaug er 20 % av oppvarma bruksareal, samsvarar dette med at lengde treverk per kvadratmeter netto veggareal vil vere;  $L'' = 3,5 \text{ m/m}^2$ . Tjukn på stender er 36 mm (13 % treandel), med unntak av I-profil og Iso3-stender som er 47 mm (17 % stenderandel). I Byggforsksariane er det føresett utvending lufta kledning. Innvendig er det føresett 12,5 mm innvendig platekledning og dampsperre. For bindingsverk med utvendig kontinuerleg isolasjon er det montert vindsperre av rullprodukt. For dei andre alternativa vindsperra 9 mm utvendig platekledning.

Det er usikkert kva som er føresett når det gjeld ut- og innvendig kledning for dei verdiane som er funne i prosjektrapport 105 av Myhre, et al. (2012a). Ved å samanlikne verdiar i prosjektrapporten som òg fins i anvisingane, verkar det truleg at dei har same føresetnadane som elles skildra her.

Tabell 6-3. Oppbygging av ulike isolerte bindingsverk i vegg, med U-verdi.

Oppbygging av bindingsverk	b [mm]	U-verdi [W/m <sup>2</sup> K]	Referanse
300 mm heiltre + 50 mm påføring	-	0,119	(Byggforskserien, 471.401)
300 mm I-profil + 50 mm påføring	-	0,118	(Byggforskserien, 471.403)
300 mm Iso3-stender + 50 mm påføring	-	0,106	(Myhre, et al., 2012b)
(300-b) mm heiltre + 50 mm påføring, med utvendig kontinuerleg isolasjon, b mm  ( $\lambda_{\text{mineralull}}=0,034 \text{ W/mK}$ )	50	0,117	(Byggforskserien, 471.411)
	100	0,116	
	150	0,114	
	200	0,112	
(300-b) mm bindingsverk med dobbelt stenderverk med mellomliggjande isolasjon, b mm + 50 mm påføring	48	0,112	(Myhre, et al., 2012c)
	98	0,107	

Tabell 6-3 viser at det mest føremålstenleg er å velje bindingsverk som er broten opp med eit isolasjonslag, anten ved bruk Iso3-stender eller dobbeltvegg. Begge gjev betydeleg lågare U-verdiar for veggenn enn dei andre alternativa. Av desse vil ein vegg bestående av Iso3-stender vere lettare og mindre tidkrevande å settje opp enn ein dobbeltvegg. Dobbeltveggen krev to mindre stender i staden for ein Iso3-stender som er ferdigprodusert med eit kuldebrubrytande lag av polyuretanskum. Iso3-stenderen har teknisk godkjenning og har vist seg som eit bra produkt ved bygging av passivhus på grunn av sin låge varmeleiingsevne samanlikna med konvensjonelle løysingar. Det er satt spørjeteikn ved stabiliteten til Iso3-stenderen, men i følge Moelven (2015a) gjev den laminerte løysinga med spesialsortert trelast eit rett og stabilt produkt. Iso3-stenderen kan òg nyttast som topp- og botnsvill, som vil gjeva gode konsekvensar for kuldebrueffekten. Sjå Figur 6-1 og Figur 6-2 for dimensjonar til ein 300 mm Iso3-stender og oppbygging av vegg med Iso3-stender og innvendig påføring.



Figur 6-1. Snitt av 300 mm Iso3-stender (SINTEF Certification, Nr. 2610).

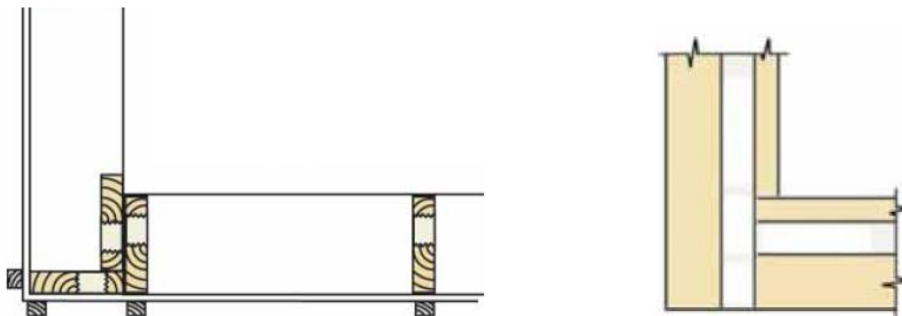


Figur 6-2. Bindingsverk av Iso3-stender med innvendig påføring (Glava, 2015b).



## 6.2.2 HJØRNE

Det vart vurdert fleire måtar å byggje opp hjørnet på med omsyn til plassering av stenderne. Utgangspunktet var at det skulle stemme overeins med modulmål, som er vanleg å starte ved innvendig kledning. Dette vart endra da val av ringmur enda på Thermomur frå Jackon, som er montert med beslag som stenderne må plasserast oppå for å sikre god lastoverføring ved bruk av Iso3-stendere med c/c 600 mm. Plassering av stenderne i hjørnet vert gjort i samsvar med Moelven (2015b) si tekniske brosjyre om Iso3-stender, sjå Figur 6-3. Resten av stenderne vert plassert ut i samsvar med beslaga. Sjø Vedlegg E for plassering av beslag i ringmuren. Det at det ikkje vert nytta modulmål kan verte ei utfordring på byggjeplassen i forhold til kva som er vanleg praksis, men det er likevel nødvendig for å kunne oppfylle krava til lastoverføring ved bruk av Iso3-stender og Thermomuren frå Jackon. Iso3-stenderne vil vere gunstige i hjørnet, ettersom dei naturleg lagar ein kuldebrubrytar der det elles vill vore ei samling av stender og dermed eit betydeleg materialbidrag. Ved å kappe av botnsvilla som vist i Figur 6-3 vil ei enda betre utnytting av svillen sine kuldebrubrytande eigenskapar vere mogleg.



Figur 6-3. Oppbygging av hjørne med Iso3-stender (Moelven, 2015b).

Til venstre: Horisontalsnitt med plassering av stenderne i hjørnet. Til høgre: Hjørneløysing for sviller.

Utrekning av kuldebruverdiane for utovervendt og innovervendt hjørne er samla i Vedlegg F.1 og F.2. Med føresetnadane over og oppbygging som i Figur 6-3 vert kuldebruverdiane:

$\Psi_{\text{ut.hjørne}} = 0,033 \text{ W/mK}$
$\Psi_{\text{inn.hjørne}} = -0,044 \text{ W/mK}$

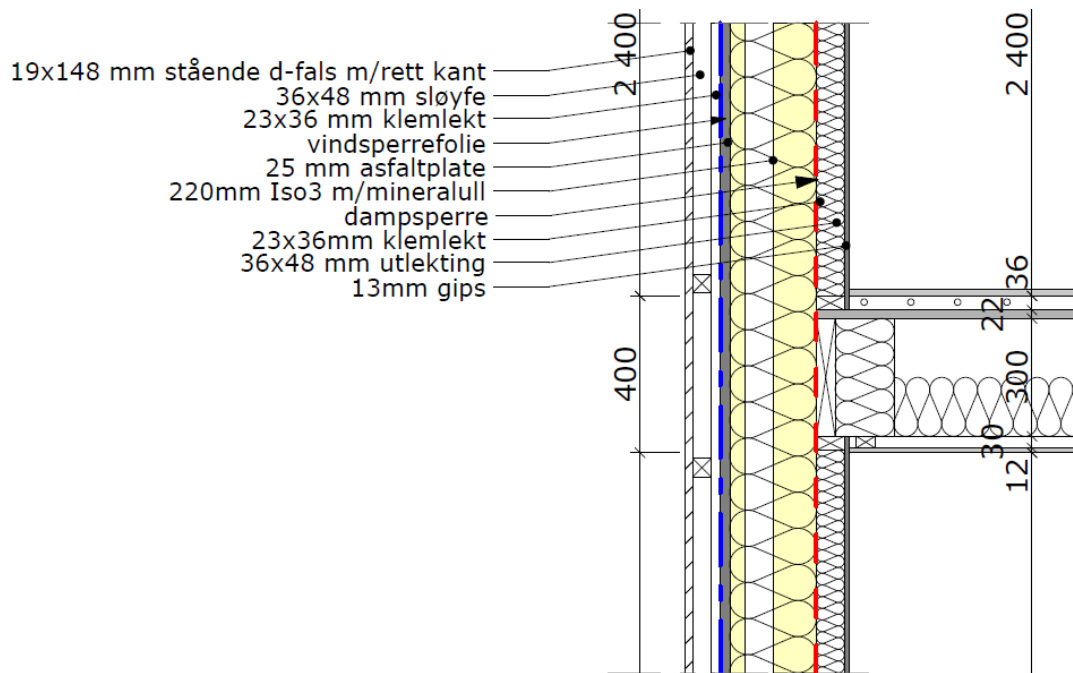
Kuldebruverdiane frå prosjektoppgåva for utovervendt og innovervendt hjørne var høvesvis 0,033 W/mK og -0,061 W/mK. Verdiane var henta frå Kuldebruatlaset, og mengde ekstra stender var tilsvarande som vist her. Med andre ord har ikkje verdi for utovervendt hjørne endra seg, trass i stor forbetring for hjørnet ved å redusere materialbidraget ved bruk av Iso3-stender i staden for heiltre. Dette botnar i bruken av Iso3-stender som gjer veggen generelt forbetra. Sidan varmetransport gjennom den vanlege delen av veggen vert vanskelegare, vert det større press på hjørna som allereie er ei utsett tilslutning. Dermed tyder det på at noko av vinninga går opp i spinninga. I tillegg er det geometriske bidraget dominerande over materialbidraget, og geometrien er lik for begge tilfella.

### 6.2.3 ETASJESKILJAR

Oppbygging av etasjeskiljar er gjort i samsvar med teikningar frå Norgeshus Gauldal Bygg sitt prosjekt «Passivhus Løvseth», der det vart nytta Iso3-stendere. Figur 6-4 viser detalj-teikninga for veggutsnitt med tilslutning mot etasjeskiljar, med 220 mm Iso3-stender nytta som bindingsverk. I samsvar med avgjerslene gjort for bindingsverket vil det nyttast 300 mm Iso3-stender, men prinsippet for etasjeskiljaren vert det same.

Kantbjelken er festa på Iso3-stenderen, noko som gjer at dampsperra kan gå kontinuerleg forbi etasjeskiljaren. Dette gjev god fuktsikring og mindre behov for skøyting av dampsperra. Plassering av kantbjelken så nærme varm side er òg fordelaktig sett frå eit kuldebruperspektiv, samanlikna med å plassere han ut mot kald side. Dette vert forsterka ved bruk av Iso3-stender som bryt opp kuldebrua stenderne lagar i veggen. Sponplata er ført under botnsvill til påføringa og oppå sponplata vert det lagt trinnlydsplate og golvbelegg. I underkant av etasjeskiljaren er det nedfôra himlingsplater av gips.

For etasjeskiljarar mellom to oppvarma rom må det fyllast heilt med isolasjon frå kantbjelken og innover, minst med same tjukn som isolasjonen i veggen. I dette tilfellet 350 mm. Ved å isolere heile bjelkelaget vil fara for sirkulasjon og gjennomblåsing av kald luft verte redusert. Kald luft skuldast uttettingar i det utvendige sperresjiktet til huset i følgje Byggforskserien (522.355).



Figur 6-4. Etasjeskiljar med Iso3-stender i yttervegg, (Norgeshus, 2015a).

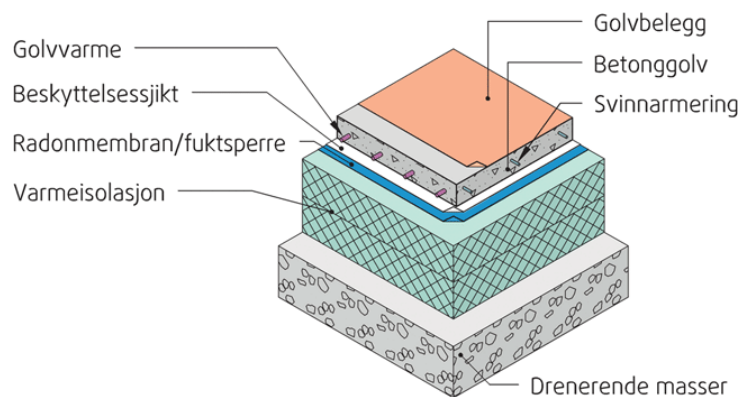
Utrekning av kuldebruverdi er samla i Vedlegg F.3. Med føresetnadane over og oppbygging som vist i Figur 6-4 vert kuldebruverdi for etasjeskiljar:

$$\Psi_{\text{etasjeskiljar}} = 0,00 \text{ W/mK}$$

Kuldebruverdi for etasjeskiljaren i prosjektoppgåva var henta frå Kuldebruatlasat, og var òg 0,00 W/mK. Oppbygging var i stor grad lik som vist her, med unntak av heiltre i standen for Iso3-stender. Dette stadfestar at det er mogleg å få til kuldebrufrie tilslutningar ved etasjeskiljarar i trehus. Vidare er det mogleg å tenkje at etasjeskiljaren kan byggjast slik at han får ein negativ kuldebruverdi, slik som for innovervendt hjørne. Dette samsvarar med at det er mogleg å byggje etasjeskiljaren slik at han slepp ut mindre varme enn det veggen gjer elles.

### 6.3 GOLV PÅ GRUNN MED RINGMUR

Oppbygging av golvet tek utgangspunkt i varmeisolert betonggolv på grunnen, som er ei vanleg løysing for småhus. 80 mm betong støypast oppå 300 mm EPS med radonmembran/fuktsperre mellom. Denne mengda isolasjon er tilstrekkeleg for å tilfredsstille krava til passivhus. Golvet leggjast på drenerande masser, sjå Figur 6-5.



Figur 6-5. Varmeisolert betonggolv på grunnen (Byggforskserien, 521.111).

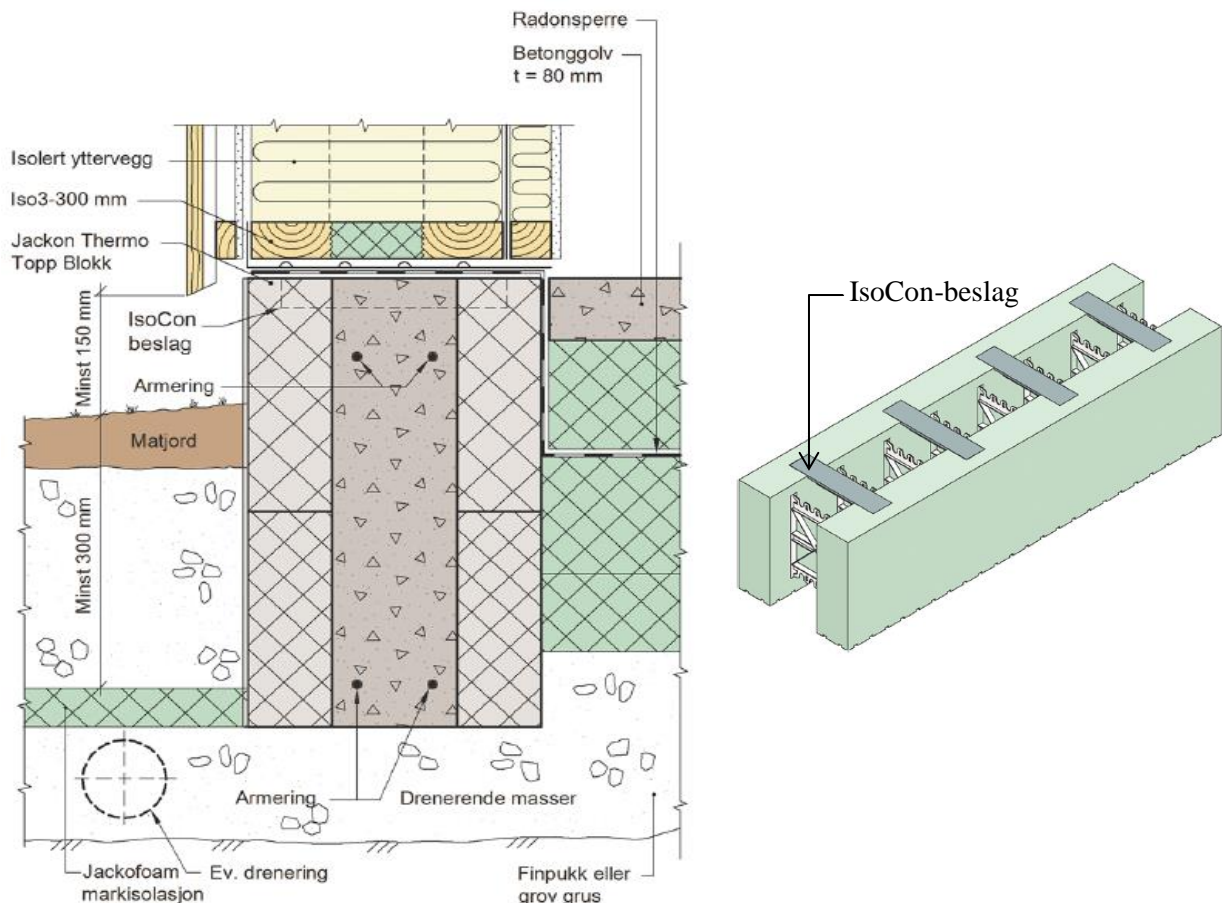
Ringmuren bind veggen og golvet saman og har ein geometri som ikkje gjer det mogleg å unngå varmetap i form av kuldebru. I tillegg består han i stor grad av betong, som har ein stor varmekonduktivitet samanlikna med både isolasjon og tre.

Ved å undersøke kva som finst av brukte løysingar på marknaden, vert det klart at det er stor variasjon i kuldebruverdien til dei ulike produkta/leverandørane. Tala spenner seg frå 0,02-0,08 W/mK, avhengig av vegg- og golvoppbyggnad. Dei lågaste verdiane finn ein ved dei ringmurane som har relativt lite isolasjon i veggen samanlikna med det eit vil ha passivhus. Det byrjar òg å kome fleire ringmurløysingar som er tilpassa passivhus, der veggen er tjukkare og krava høgare enn i konvensjonelle hus/bustadar. «Problemet» er at dei godt isolerte veggane og golvet i eit passivhus gjer kuldebrua enda meir utsette. Dette fordi det vert enklare, relativt sett, å trengje gjennom tilslutningar som ringmur enn vegg eller golv.

Ved å sjå på SINTEF sine Tekniske Godkjenningar viser det seg at det ligg ute fleire typer ferdige element til å byggje ringmur. Anten i form av isoblokkar (lettklinkerbetong med isolert kjerne) eller ringmurssystem bygd opp av EPS der betongen vert støypt på byggeplassen. Ringmursløysingar som allereie er tilpassa teikningar gjev kjapp og enkel montering på byggeplass, og ein sparar både tid og pengar. Etter å ha rekna på fleire ringmurssystem i THERM, blant anna frå Weber (Leca) og Jackon, i tillegg til tradisjonell støypt ringmur med isolasjon rundt, er det Jackon Thermomur 350 som vert nytta vidare.

I tillegg til standard utformingar er det sett på kva konsekvensar tilleggsisolering gjev. Anten med innvendig, utvendig og/eller på underside av ringmur eller kontinuerleg isolasjon på utsida av bindingsverk og ned langs ringmur. Det mest effektive er å forbetre berre sjølve ringmuren, ettersom forbetring av veggen i tillegg til ringmuren går litt opp i spinninga. Av dei utprøvde variasjonane var det Thermomuren frå Jackon som «trongde» minst tilleggsisolering for å oppnå ein OK kuldebruverdi. Dette sjåast på som eit pluss, ettersom det krev mindre material og enklare utføring på byggjeplassen. Likevel ser ein at det kan lønne seg å leggje 50 mm EPS under ringmuren for å redusere kuldebruverdien ytterlegare, sjå Tabell 6-4.

Jackon Thermomur 350 er vist på Figur 6-6 og består av EPS-blokkar som vert montert, armert og støypt med betong på byggjeplass. Fordelen med dette produktet kontra andre ringmurssystem, er beslaget som vert montert på toppblokka som gjer det ideelt å nytte Iso3-stender. Sidan treverket i hovudsak vil byggjast oppå EPS-isolasjonen i ringmurssystemet, er beslaget montert for å kunne sikre overføring av last ned i betongen.



Figur 6-6. Jackon Thermomur 350 (SINTEF Certification, Nr. 2144).

Til venstre: Tilslutning mot vegg og golv. Til høgre: Toppblokk med IsoCon-beslag.

IsoCon-beslaget er av aluminium, og vil på grunn av sin høge varmekonduktivitet gjeva ein kuldebruverdi som er høgare enn ringmur utan beslag. Dette må det takast omsyn til, og i Vedlegg D er beslaget sin arealandel i lengderetning rekna ut.

For å vurdere kor mykje beslaget forverrar kuldebruverdien er òg verdi for ringmur eksklusiv beslag rekna ut, sjå Tabell 6-4. Her presenterast kuldebruverdiar for ringmuren med og utan beslag, men òg med 50 mm isolasjon under ringmuren for dei to tilfella. Dette er inkludert for å sjå kor mykje isolasjonen vil kompensere for bidraget beslaget påfører. Dette er tiltak som er enkle å gjere på papiret og ved teoretiske utrekningar, men førar til meirarbeid på byggjeplassen og ekstrakostnad for den som byggjar. Dette gjeld både i form av auka materialbruk og utføringstid. Slik ser ein at for å få kuldebruverdien berre *litt* betre, resulterer det fort i løysingar som kanskje kostar meir enn det smakar.

Normalisert kuldebruverdi for Asplund er òg presentert for å gjeva ein peikepinn på kor mykje/lite endringar i ringmuren påverkar denne verdien. Den normaliserte kuldebruverdien er basert på at dei andre kuldebruverdiene er som gjeve i Tabell 6-5. Lengdene og bygningsutforming er som for Asplund. Tilsvarende vart òg gjort for dei tre andre eksempelbustadane. Trass i ulik omkrins og mengde ut- og innovervendte hjørne heldt prosentandelane seg stabile for mengde beslag i lengderetning. Dei endrar seg ikkje nok til at det gjev noko utfall for korkje kuldebruverdien eller den normaliserte kuldebruverdien.

Tabell 6-4. Kuldebruverdiar for Thermomur, med og utan beslag og EPS under ringmuren.

Jackson Thermomur	Kuldebruverdi	Normalisert kuldebruverdi <sup>(#)</sup>
	$\Psi_{\text{golv}}$ [W/mK]	$\Psi''$ [W/m <sup>2</sup> K]
Utan beslag	0,064	0,035
Utan beslag + EPS under ringmur	0,058	0,033
Beslag	0,068	0,036
Beslag + EPS under ringmur	0,062	0,034
<sup>(#)</sup> Normalisert kuldebruverdi er basert på at dei resterande kuldebruverdiene er som angjeve i Tabell 6-5, og lengdene og bygningsutforming er som for Asplund.		

Tabellen viser at beslaget gjev nokre desimalkonsekvensar for kuldebruverdien, men at dette ikkje gjev store ringverknadar for den normaliserte kuldebruverdien. Vidare vil ringmuren med EPS under nyttast, for å kompensere for beslaget. Utrekning er samla i Vedlegg F.4, og gjev utrekna kuldebruverdi:

$$\Psi_{\text{golv}} = 0,062 \text{ W/mK}$$

Frå prosjektoppgåva hadde golvet kuldebruverdi lik 0,061 W/mK. Trass i relativt lik kuldebruverdi er det veldig stor skilnad i utføring. I prosjektoppgåva var det ein konvensjonell ringmur med 150 mm betongkjerne isolert med 50 mm isolasjon på ut-, inn- og underside av ringmuren. Han var vald frå Kuldebruatlasert i mangel på betre løysingar, men det er klart at ringmuren frå Jackson høver seg betre i eit passivhus, ikkje minst på grunn av Iso3- stenderne.

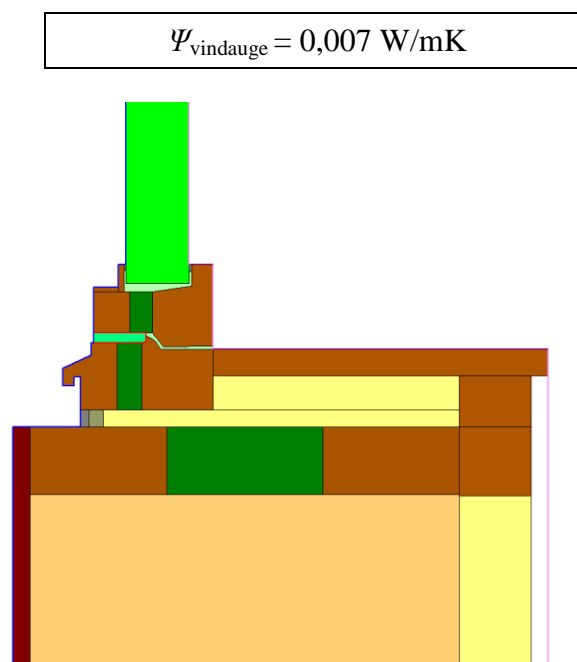
## 6.4 VINDAUGE

Vindaug utgjør eit av dei største varmetapa i ein bygningskjem, og det krevjast dermed gode løysingar og utføringar for å sikre at dette varmetapet vert redusert mest mogleg. Med det store fokuset på å unngå varmetap, vil det vere naturleg å velje eit vindaug som har isolert karm og ramme, og gjev U-verdiar nede i 0,8-0,7 W/m<sup>2</sup>K.

Decheva (2012) si masteroppgåve om kuldebruer ved innsetting av vindaug dannar godt bakgrunnsstoff for korleis vindaug bør monterast. Det mest optimale er å plassere vindaug slik at avstand frå utside vindspærre til utvendig kant på vindaugskarmen er 35 mm. Dette stadfestar fleire studie, blant anna SINTEF sin Prosjektrapport 25 Myhre, et al. (2012a). Sistnemnde omhandlar utrekning av kuldebruer og kva slags innverknad dei har på energibruk. Det er viktig å vere oppmerksom på at ei slik utføring krev god utføring av fuktetting under karmen.

Masteroppgåva viser òg andre metodar for å redusere kuldebruverdien ved innsetjing av vindaug Dette omfattar å heve vindaugsbrettet for å kunne isolere ekstra under. Dette vil nyttast, sidan det viser seg å vere særst effektivt for å redusere kuldebruverdien rundt vindauga. Det er viktig å påpeike at dette korkje er vanleg utforming eller nødvendigvis hensiktsmessig i dag, trass i at det er praktisk mogleg. Vindaugsbrettet er plassert mykje høgare enn tradisjonell utføring, og dette gjer at det ikkje er noko utsparring i karmen der ein ynskjer å feste brettet. Konsekvensane vert ein konstruksjon som ikkje er like stabilt som den konvensjonelle løysinga, og dette kan føre til redusert levetid for løysinga. Kanskje vil framtidige karmar utførast med utsparring som mogleggjer god festing av heva vindaugsbrett, slik at nesten kuldebrufrie vindaug vert ei vanleg løysing.

Utrekning av kuldebruverdi er samla i Vedlegg F.5. Med føresetnadane over og oppbygging som i Figur 6-7 vert kuldebruverdi for vindaug:



Figur 6-7. Forenkla vindaug med isolert ramme og karm og heva vindaugsbrett.

Etter at Byggforskserien 471.017 «Kuldebroer. Tabeller med kuldebruverdier» vart fjerna har ikkje Byggforsk lenger noko anvising som omfattar kuldebruverdier for vindauge. Andre kjelder måtte derfor finnast for å avgjere ein kuldebruverdi. Prosjektrapport 25 viser til fleire typar vindauge med tilhøyrande tabellverdier for kuldebruverdi. Det var  $\Psi'' = 0,008 \text{ W/mK}$  som passa best med det som var ynskjeleg oppbygging av vindaug. Denne verdien omfattar ei relativt standard oppbygging av eit vindauge tilslutta vegg, med isolert ramme og karm. Denne kuldebruverdien er likevel ikkje heilt i samsvar med det som var vald av oppbygging i prosjektoppgåva, ettersom han gjeld for ein vegg med 250 mm isolasjon, i staden for 350 mm (Gustavsen, et al., 2008).

Ved å rekne numerisk med THERM er dermed den valde verdien ovanfor meir i samsvar med faktisk vald bygningsutforming, trass i at han er særskild lik den nytta i prosjektoppgåva. Ein av grunnane til at vindaugget får så liten kuldebruverdi er fordi varmen så enkelt går gjennom vindaugget og dermed ikkje har like stort behov for å finne ein «enklare» veg.

## 6.5 DØR

Kuldebruverdi til dører er lite omtalt med skildring av opphav i dagens litteratur, òg når det kjem til Byggforskserien enda. I Prosjektrapport 25 frå SINTEF Byggforsk (Gustavsen, et al., 2008) er det presentert verdier mellom 0,01-0,04 W/mK, avhengig av om det er utføringar med lite eller normal mengde kuldebruer.

For vindaugget viser det seg at det er mogleg å oppnå relativt små kuldebruverdier, men det vil vere urealistisk å kunne anta det same for døra. På grunn av krav til understøtting og bæreevne under terskelen, vil det ikkje vere mogleg å ha mineralull med botnfylling og fyllingslist, slik som ein gjer rundt vindauge og elles rundt døra. Vidare vil det derfor arbeidast med ein verdi basert på normale mengder kuldebruer for døra, henta frå Prosjektrapport 25:

$$\Psi_{\text{dør}} = 0,02 \text{ W/mK}$$

Dette er same grunngeving og val av verdi som vart nytta i prosjektoppgåva.

## 6.6 KOMPACT TAK

Det er føresett at bærekonstruksjon i det kompakte tak er heiltre. Sperrane har senteravstand 600 mm, og dette samsvarar med 6 % treandel når undergurtane eller sperrane har breidde 36 mm. Utgangspunktet for det kompakte taket er henta frå SINTEF sin Prosjektrapport 105. Flatt tak gjer bygningskroppen kompakt, som er fordelaktig sett frå eit energisparande perspektiv. Det er totalt 600 mm isolasjon: 500 mm EPS oppå OSB-plata og 100 mm mineralull under.

Ved å velje nedfôra himling kan tekniske installasjonar og liknande skjulast over himlingsplata. Tilslutninga til veggen er prosjektert i samsvar med Norgeshus Gauldal Bygg sitt prosjekt «Passivhus Løvseth», der det vart nytta Iso3-stendere i bindingsverket. I tillegg er

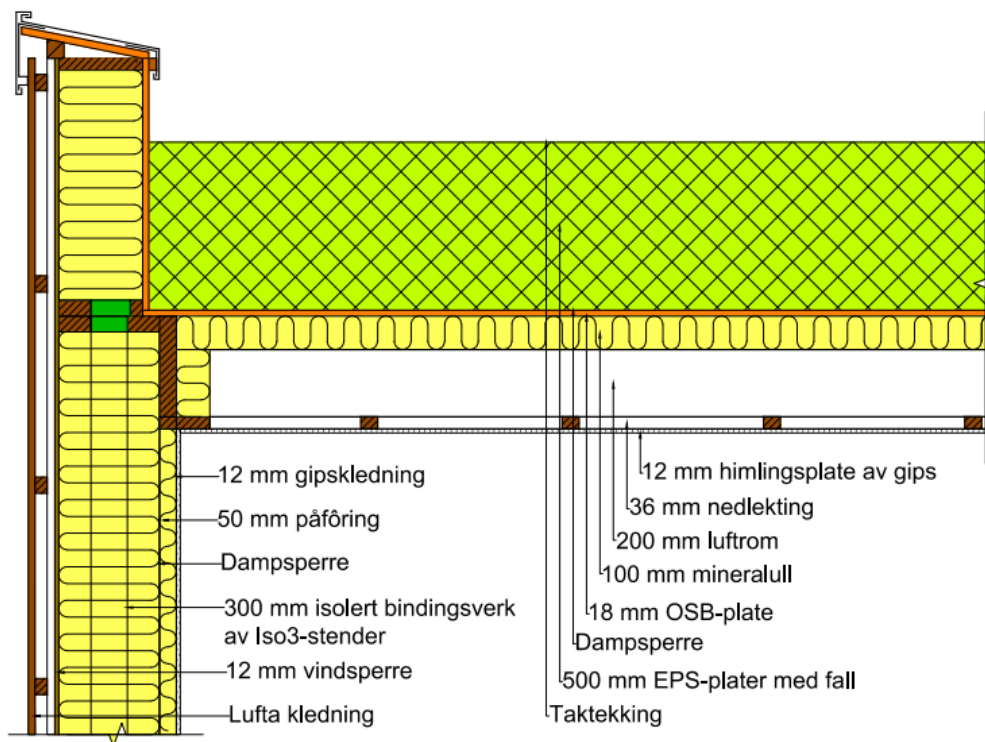


toppsvill til vegg og botnsvill til parapeten utført med Iso3-stender, i samsvar med Moelven (2015a) sine anvisingar.

Utrekning av kuldebruverdi er samla i Vedlegg F.6. Med føresetnadane over og oppbygging som i Figur 6-8 vert kuldebruverdi for taket:

$$\Psi_{\text{tak}} = 0,041 \text{ W/mK}$$

Taket var den einaste komponenten som vart rekna numerisk i prosjektoppgåva, og likevel er det her det er størst skilnad. Kuldebruverdien var rekna til 0,060 W/mK i prosjektoppgåva. Skilnaden kjem i stor grad av forbetringar gjort i tilslutninga. Dette inneber bruk av Iso3-stender i toppsvill for vegggen og botnsvill for parapeten, men òg reduksjon av mengde treverk i tilslutninga. I tillegg er vegggen/toppsvill trekt høgare opp, og dette gjev fordelaktige eigenskapar for delen av vegggen som er inkludert i kuldebrua.



Figur 6-8. Kompakt tak med bindingsverk av Iso3-stender.

## 6.7 SKORSTEIN

Det er i dag ein pågåande diskusjon om skorstein er noko som høyrer heime i eit passivhus, sidan det er strengt tatt ikkje bruk for han. Husa baserar seg i så stor grad på passive tiltak, at ein risikerer overoppvarming. Det er heller ikkje krav om skorstein i bustadar som skal tilfredsstillte passivhusstandarden (DiBK, 2010b), men det betyr ikkje at folk ikkje vil behalde han. Kanskje vil vedomnen gå av moten og forsvinne frå dei nye, norske bustdane, men ein artikkel frå nettstaden «Byggmesteren» avkreftar dette: «I en undersøkelse som Norsk Statistikk har gjennomført på vegne av Norsk Varme, sier 90 prosent av de spurte at de ønsker å beholde pipe og ildsted i moderne boliger,» seier Lothington (2012).



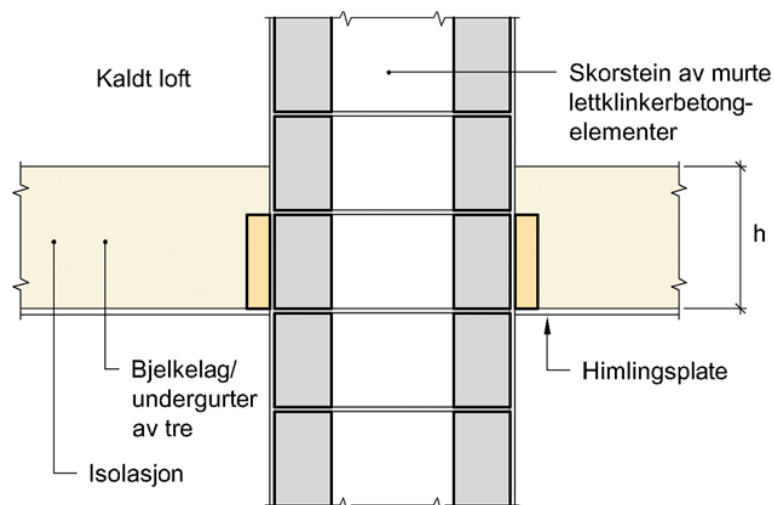
Eit anna perspektiv er Noreg sitt ustabile vær som kan føre til straumbrot med jamne mellomrom. Det å berre vere avhengig av elektrisitetsbasert oppvarming kan vere risikabelt i ei land med mykje dårleg vær. Likevel er det ikkje til å kome unna at det å fyre i peisen i mange tilfelle kan vere like mykje prat om kos og tradisjon som faktisk nødvendighet.

Så kjem spørsmålet som er relevant for denne oppgåva: Høyrer skorsteinen heime i ein kuldebrurekneskap? Det ikkje er bruk for han, men dersom folk installerer vedovn vil han definitivt vere med å lage eit varmetap i form av kuldebru. Det er ikkje presisert nokon stad om han skal eller ikkje skal vere med, så i utgangspunktet burde han inkluderast. Likevel er det allereie klart at skorsteinen vil få dei fleste kuldebrurekneskap til å sprekkje (Svare, 2015). Derfor vil han i utgangspunktet ikkje inkluderast i kuldebrurekneskapen som er utført her, for å gjeva bustadane ei sjanse til klare kravet til normalisert kuldebruverdi. Dessutan er det anteke at dagens kravsverdi til kuldebruer ikkje er tenkt å inkludere skorsteinen, som gjer det nesten urettferdig å ta han med. Likevel er det interessant å sjå kor mykje skorsteinen bidreg med når han er inkludert. Punktkuldebruverdi for skorsteinen vert derfor bestemt, slik at normalisert kuldebruverdi inkludert skorstein kan kommenterast.

SINTEF sitt Kuldebruatlas inneheld éin Byggforskserie for skorstein, «Kuldebroverdier. Skorstein av lettklinkerbetongelementer og isolert trebjelkelag» (472.911). Det er ikkje nokon av løysingane i denne anvisinga som samsvarar med eit kompakt tak med underliggande bæring av tresperrer, med det nyttast verdiar som er kalkulert for skorstein mot kaldt loft. Dersom ein antek at temperatur på det kalde loftet er tilnærma utetemperatur, vil dette vere akseptabelt. Sjå Figur 6-9. Anvisinga antek undergurtar av 198 mm konstruksjonsvirke, og at skorsteinen har dimensjonane:  $b \times l = 460 \text{ mm} \times 460 \text{ mm}$ . Maks isolasjonshøgde i anvisinga er  $h = 500 \text{ mm}$ . Dette vil gjeva noko feilmargin ettersom taket er bestemt å ha  $h = 600 \text{ mm}$ , men det vert neglisjert. Punktkuldebruverdien for skorsteinen er:

$$X_{\text{skorstein}} = 2,809 \text{ W/K}$$

Dette er same grunngeving og verdi som vart nytta i prosjektoppgåva.



Figur 6-9. Skorstein mot kaldt loft (Byggforskserien, 472.911).

## **6.8 ANDRE MOGLEGE KULDEBRUER**

I tillegg til dei bygningsdetaljane som er presentert er det fleire stadar i ein konstruksjon med tap av varme gjennom kuldebruer. Fleire av desse er greidd ut om her, med grunngjeving for kvifor dei ikkje er inkludert i kuldebrurekneskapen for eksempelbustadane.

### **6.8.1 INNVENDIG SKILJEVEGG MØTER YTTERVEGG ELLER TAK**

Tilslutning mellom innvendig skiljevegg mot yttervegg eller tak vil ikkje vere eit problem så lenge skiljeveggen ikkje er festa inn i motstøytande konstruksjon. Sidan dette ikkje er vanlig praksis, er det naturleg å anta at det heller ikkje førekjem i nokon av eksempelbustadane.

### **6.8.2 BALKONG**

Balkongar festa inn i skiljekonstruksjonen vil kunne gjeva eit stort varmetap dersom det ikkje er utført på ein måte som klarar å bryte opp kuldebrua. For eksempelbustaden som er utforma med balkong, er det anteke at han er ein sjølvstendig konstruksjon som ikkje er festa inn i bærekonstruksjonen. Balkongen vil dermed ikkje gjeva noko bidrag til kuldebru-rekneskapen.

### **6.8.3 GJENNOMFØRINGAR I VEGGAR, TAK OG MOT GRUNN**

I ein bustad vil det vere mange gjennomføringar i bygningskonvoluttene. Dømer på dette er drenering av vatn burt frå flate tak, ventilasjon, avtrekk, el og vatn ned i grunnen osv., i tillegg til skorsteinen som allereie har vist at han gjev eit betydeleg bidrag. Desse bidraga er det ikkje vanleg å presentere i eit varmetapsrekneskap, og noko av grunnen kan vere manglande datagrunnlag. Ein anna årsak kan vere at dei ikkje direkte er bygningsdetaljar, slik dei «vanlege» kuldebruerne som er omtala her er. Like fullt endrar dei den elles einsarta varmemotstanden i konstruksjonen dei er montert på. Det er klart at ved å inkludere desse bidraga, vil det verte enda vanskelegare å tilfredsstille krav for normalisert kuldebruverdi. Det er ikkje gjort noko vidare studie på desse, i hovudsak med omsyn på tilgjengeleg tid. Sidan dei heller ikkje er vanlege å inkludere i kuldebrurekneskapen er det òg meir relevant å konsentrere seg om det som faktisk vert inkludert.

### **6.8.4 HJØRNE I RINGMUR OG TAK**

Sidan kuldebruer er rekna ut ved å nytte totale, innvendige lengder, vil det vere tredimensjonale punkt i hjørne ved tak og ringmuren som ikkje vert inkludert i dei utrekningane som er gjort for tilslutning tak-vegg og golv-vegg. Å ikkje inkludere dei er avgjersle som er ein kombinasjon av tilgjengeleg tid og tilgang på program. THERM 7.2 er ei to-dimensjonalt simuleringsprogram, og vil derfor ikkje kunne nyttast til å lage 3D-modellar.

## **6.9 OPPSUMMERING AV KULDEBRUVERDIAR**

Kuldebruverdiane er samla i Tabell 6-5 med referanse for utrekning og tilhøyrande U-verdi. Fotnotane skildrar kva metode som er nytta for å finne kuldebru- og U-verdiane til dei ulike bygningskomponentane.

Tabell 6-5. Oppsummering av U-verdi og kuldebruverdi.

Bygningskomponent/ -tilslutning	U-verdi	Kuldebruverdi	Referanse
	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/mK]	
Yttervegg	0,10 <sup>(1)</sup>	-	
Utovervendt hjørne	-	0,033 <sup>(1)</sup>	Vedlegg F.1
Innovervendt hjørne	-	-0,044 <sup>(1)</sup>	Vedlegg F.2
Etasjeskiljar	-	0,00 <sup>(1)</sup>	Vedlegg F.3
Golv	0,11 <sup>(1)(a)</sup>	0,062 <sup>(1)</sup>	Vedlegg F.4
Vindauge	0,7 <sup>(1)</sup>	0,007 <sup>(1)</sup>	Vedlegg F.5
Dør	0,7	0,020 <sup>(3)</sup>	
Tak	0,06 <sup>(1)</sup>	0,041 <sup>(1)</sup>	Vedlegg F.6
Skorstein	-	2,809 W/K <sup>(2)</sup>	
Andre kuldebruer	-	~ 0	
<sup>(1)</sup> Numerisk utrekna (THERM) <sup>(2)</sup> Kuldebruatlas <sup>(3)</sup> Andre tabelloppslag			
<sup>(a)</sup> Dette er berre U-verdi for sjølve golvkonstruksjonen, men totalt varmetap gjennom golv vil òg vere avhengig av golvet sin storleik, omkrins og grunnforhold (NS, 3031:2014). Dette vert automatisk inkludert ved energitrekning i TEK-sjekk.			

Som tidlegare greia ut om var målet å konstruere bygningsdetaljar slik at den normaliserte kuldebruverdien til Asplund kom innanfor passivhuskravet;  $\Psi'' = 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette viser seg å vere mogleg dersom ein ikkje inkluderer skorsteinen, men berre akkurat. Kuldebruverdiane frå Tabell 6-5 saman med lengdene til Asplund frå Tabell 4-2 gjev normalisert kuldebruverdi,  $\Psi'' = 0,034 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Sidan normalisert kuldebruverdi i standarden er skildra med to desimal, kan verdien for Asplund rundast ned til  $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Likevel er det heilt i grenseland at bustaden kjem innanfor kravet. Ved å inkludere kuldebrutap for skorsteinen vert den normaliserte kuldebruverdien;  $\Psi'' = 0,051 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ikkje uventa er denne verdien langt utanfor kravet til passivhus.

## 6.10 GEOMETRISKE KULDEBRUVERDIAR

For å vurdere dei geometriske tilslutningane vert ekvivalent varmekonduktivitet til golv, vegg, tak og parapet funne. Utrekning for dei ekvivalente varmekonduktivitetane er vist i Vedlegg G og resultatet er samla i Tabell 6-6. Dette vil vere ei akseptabel forenkling ettersom det er geometriske varmetap som skal vurderast. Dei modellerte bygningsdelane innehald berre det som er inkludert i U-verdien, sidan materialbidrag er ekskludert. Ekvivalent varmekonduktivitet inkluderer ikkje overgangsmotstandar, berre varmemotstandane til materiala i bygningsdelane.

Tabell 6-6. Ekvivalent varmekonduktivitet ved modellering av geometriske tilslutningar.

Bygningsdel	Ekvivalent varmekonduktivitet
	$\lambda_{\text{ekv}}$ [W/mK]
Golv	0,044
Vegg	0,037
Tak	0,035
Parapet	0,041

Dei geometriske kuldebruverdiane er samla i Tabell 6-7, i tillegg til tilhøyrande total kuldebruverdi. Det er òg inkludert ei kolonne som viser kor stor prosent det geometriske bidraget utgjer av det totale kuldebrutapet til ein komponent. Sidan det geometriske bidraget vil vere tilnærma umogleg å unngå, fortel denne prosenten om tilgjengeleg forbettingspotensiale.

Tabell 6-7. Geometriske kuldebruverdiar og samanlikning mot total kuldebruverdi.

Bygningskomponent/ -tilslutning	Geometrisk kuldebruverdi	Total kuldebruverdi	$\frac{\Psi_{\text{geo},i}}{\Psi_i}$	Referanse, geometrisk kuldebruverdi
	$\Psi_{\text{geo},i}$ [W/mK]	$\Psi_i$ [W/mK]	[%]	
Utovervendt hjørne	0,021	0,033	63,6	Vedlegg H.1
Innovervendt hjørne	-0,049	-0,044	111,3	Vedlegg H.2
Golv på grunn	0,018	0,62	29,0	Vedlegg H.3
Tak	0,014	0,041	34,1	Vedlegg H.4

Mengde geometrisk bidrag varierer for dei ulike kuldebruene. Utovervendt hjørne består over 60 % av geometrisk bidrag, medan for golv og tak er det om lag 30 %. Eit stort prosentvis bidrag av geometrisk varmetap vil vere positivt i den forstand at store delar av materialbidraget er eliminert, det geometriske bidraget vil uansett vere der. Likevel vil det vere urealistisk å anta at ein klarar å eliminere heile materialbidraget, ettersom det er nødvendig for å halde ein konstruksjon oppe/saman. Ulempa med eit stort geometrisk bidrag vil vere mangel på rom for forbettingspotensialet. Dersom mengde materialbidrag er stor, vil det kanskje vere mogleg å gjere forbetringar for å oppnå ein enda betre kuldebruverdi.

I neste hovudkapittel vil dei totale og geometriske kuldebruverdiane koplatt saman med lengdene for dei fire eksempelbusadane, slik at kuldebrurekneskapane kan setjast opp og normalisert kuldebruverdi vert funne.

## 7 KULDEBRUREKNESKAP

---

I dette kapitlet er kuldebrurekneskapen for dei fire eksempelbustadane presentert. Det er to kuldebrurekneskap per bustad, éin for normalisert kuldebruverdi og éin for normalisert, geometrisk kuldebruverdi. Utrekning av kuldebruverdiar er samla i høvesvis Vedlegg F og Vedlegg H for dei to tilfella. Alle bustadane har same byggjesystem, i samsvar med avgjersler teke i kapittel 6.

Kuldebruverdi for skorsteinen er ikkje inkludert i tabellane der kuldebrurekneskapen er samla. Dette er eit bevisst val for å gjeva bustadane ei moglegheit til å kome innanfor kravet om normalisert kuldebruverdi mindre eller lik  $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Det er allereie klart at skorsteinen øydelegg dei fleste kuldebrurekneskap, og det vil derfor ikkje vere relevant å vie mykje tid til han i resultatdelen, men heller ta det vidare i diskusjonsdelen. Derfor er normalisert kuldebruverdi *inkludert* skorsteinen sin punktkuldebruverdi presentert i etterkant av tabellen, for å vise kor mykje han utgjer.

Tabellane inneheld òg ei kolonne som viser kor mykje kuldebrutap til komponentane utgjer prosentvis av det totale kuldebrutapet i dei enkelte eksempelbustadane. Dette viser kva tilslutning som bidreg til det største tapa, og dermed kor det vil vere viktigast å gjere forbetringar for å oppnå enda betre normalisert kuldebruverdi.

Tabellane med kuldebrurekneskapane presenterast fyrst. Etterpå vil dei normaliserte og dei normaliserte, geometriske kuldebruverdiane verte samla i ei tabell og vurdert opp mot passivhuskravet. Andre relevante verdiar og trendar vert òg kommentert her.

Normalisert kuldebruverdi skal i utgangspunktet skildrast med to gjeldande siffer etter komma. Det er derfor anteke at standarden vil godkjenne normaliserte kuldebruverdiar  $\leq 0,034 \text{ W/m}^2\text{K}$  på grunn av avrundinga som vert gjort. For å få eit betre bilete av den normaliserte kuldebruverdien er dei likevel oppgjeve med tre gjeldande siffer.

Til slutt i dette kapitlet vil samanhengen mellom den normaliserte kuldebruverdien og oppvarma bruksareal for to av eksempelbustadane vurderast. Ved å auke og redusere omkrinsen vil både kuldebruverdi og oppvarma bruksareal endre seg, og formålet er å sjå kva trenden viser.

## 7.1 ASPLUND

Kort oppsummering om Asplund: To etasjes småhus, oppvarma bruksareal = 166,6 m<sup>2</sup> og omkrins = 42 m. Sju utovervendte hjørne og tre innovervendte.

Tabell 7-1. Kuldebrurekneskap for eksempelbustaden Asplund.

ASPLUND	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_i$	Kuldebru-tap, $X_i$	$X_i/X_{tot}$
Tilslutning	[lm]	[W/mK]	[W/K]	[%]
Utovervendt hjørne	36,4	0,033	1,209	21,1
Innovervendt hjørne	15,6	-0,044	-0,693	-12,1
Etasjeskiljar	42	0,000	0,000	0,0
Golv – vegg	42	0,062	2,616	45,6
Vindauge – vegg	103,8	0,007	0,744	13,0
Dør – vegg	6,2	0,020	0,124	2,2
Tak – vegg	42	0,041	1,741	30,3
Andre kuldebruer			~ 0	0
<b>Sum kuldebrutap, <math>X_{tot} = \sum \Psi_i * l_i + \sum X_i</math></b>			<b>5,74</b>	<b>100</b>
<b>Normalisert kuldebruverdi, <math>\Psi''</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>0,034</b>	-

Ved å inkludere skorsteinen vert normalisert kuldebruverdi:  $\Psi'' = 0,051$  W/m<sup>2</sup>K. Dette er ei auke på 50 %.

Tabell 7-2. Geometrisk kuldebrurekneskap for Asplund.

ASPLUND	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_{geo,i}$	Kuldebru-tap, $X_{geo,i}$	$X_{geo,i}/X_{geo}$
Tilslutning	[lm]	[W/mK]	[W/K]	[%]
Utovervendt hjørne	36,4	0,021	0,772	58,7
Innovervendt hjørne	15,6	-0,049	-0,768	-58,3
Golv – vegg	42	0,018	0,743	56,5
Tak – vegg	42	0,014	0,568	43,2
<b>Sum geometrisk kuldebrutap, <math>X_{geo} = \sum \Psi_{geo,i} * l_i</math> [W/K]</b>			<b>1,31</b>	<b>100</b>
<b>Normalisert, geometrisk kuldebruverdi <math>\Psi''_{geo}</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>0,008</b>	-

## 7.2 BRIS

Kort oppsummering om Bris: To etasjes småhus, oppvarma bruksareal = 189,4 m<sup>2</sup> og omkrins = 40,2 m. Relativt kompakt utforma, utan innovervendte hjørne.

Tabell 7-3. Kuldebrurekneskap for eksempelbustaden Bris.

BRIS	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_i$	Kuldebru-tap, $X_i$	$X_i/X_{tot}$
Tilslutning	[lm]	[W/mK]	[W/K]	[%]
Utovervendt veggjørne	20,8	0,033	0,691	11,0
Innovervendt veggjørne	0	-0,044	0,000	0,0
Etasjeskiljar	40,2	0,000	0,000	0,0
Golv – vegg	40,2	0,062	2,548	40,7
Vindaug – vegg	150	0,007	1,075	17,2
Dør – vegg	12,4	0,020	0,248	4,0
Tak – vegg	40,2	0,041	1,696	27,1
Andre kuldebruer			~ 0	0
<b>Sum kuldebrutap, <math>X_{tot} = \sum \Psi_i * l_i + \sum X_i</math></b>			<b>6,26</b>	<b>100</b>
<b>Normalisert kuldebruverdi, <math>\Psi''</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>0,033</b>	-

Ved å inkludere skorsteinen vert normalisert kuldebruverdi:  $\Psi'' = 0,048$  W/m<sup>2</sup>K. Dette er ei auke på om lag 45 %.

Tabell 7-4. Geometrisk kuldebrurekneskap for Bris.

BRIS	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_{geo,i}$	Kuldebru-tap, $X_{geo,i}$	$X_{geo,i}/X_{geo}$
Tilslutning	[lm]	[W/mK]	[W/K]	[%]
Utovervendt hjørne	20,8	0,021	0,441	25,7
Innovervendt hjørne	0	-0,049	0,000	-
Golv – vegg	40,2	0,018	0,724	42,1
Tak – vegg	40,2	0,014	0,553	32,2
<b>Sum geometrisk kuldebrutap, <math>X_{geo} = \sum \Psi_{geo,i} * l_i</math> [W/K]</b>			<b>1,72</b>	<b>100</b>
<b>Normalisert, geometrisk kuldebruverdi <math>\Psi''_{geo}</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>0,009</b>	-

### 7.3 HEIA

Kort oppsummering om Heia: Eitt etasjes småhus, oppvarma bruksareal = 143 m<sup>2</sup> og omkrins = 52,3 m. Ti utovervendte hjørne og seks innovervendte.

Tabell 7-5. Kuldebrurekneskap for eksempelbustaden Heia.

HEIA	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_i$	Kuldebru-tap, $X_i$	$X_i/X_{tot}$
Tilslutning	[lm]	[W/mK]	[W/K]	[%]
Utovervendt veggjørne	24	0,033	0,797	12,6
Innovervendt veggjørne	14,4	-0,044	-0,640	-10,1
Etasjeskiljar	0,0	0,000	0,000	0,0
Golv – vegg	52,3	0,062	3,258	51,4
Vindaug – vegg	71	0,007	0,509	8,0
Dør – vegg	12,4	0,020	0,248	3,9
Tak – vegg	52,3	0,041	2,168	34,2
Andre kuldebruer			~ 0	0
<b>Sum kuldebrutap, <math>X_{tot} = \sum \Psi_i * l_i + \sum X_i</math></b>			<b>6,34</b>	<b>100</b>
<b>Normalisert kuldebruverdi, <math>\Psi''</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>0,044</b>	-

Ved å inkludere skorsteinen vert normalisert kuldebruverdi:  $\Psi'' = 0,064$  W/m<sup>2</sup>K. Dette er ei auke på 45 %.

Tabell 7-6. Geometrisk kuldebrurekneskap for Heia.

HEIA	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_{geo,i}$	Kuldebru-tap, $X_{geo,i}$	$X_{geo,i}/X_{geo}$
Tilslutning	[lm]	[W/mK]	[W/K]	[%]
Utovervendt hjørne	24	0,021	0,509	35,5
Innovervendt hjørne	14,4	-0,049	-0,709	-49,4
Golv – vegg	52,3	0,018	0,926	64,6
Tak – vegg	52,3	0,014	0,707	49,3
<b>Sum geometrisk kuldebrutap, <math>X_{geo} = \sum \Psi_{geo,i} * l_i</math></b>			<b>1,43</b>	<b>100</b>
<b>Normalisert, geometrisk kuldebruverdi <math>\Psi''_{geo}</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>0,010</b>	-



## 7.4 HEIMEN

Kort oppsummering om Heimen: Eitt etasjes småhus, oppvarma bruksareal = 89,9 m<sup>2</sup> og omkrins = 39,1 m. Relativt kompakt utforma, utan innovervendte hjørne.

Tabell 7-7. Kuldebrurekneskap for eksempelbustaden Heimen.

HEIMEN	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_i$	Kuldebru-tap, $X_i$	$X_i/X_{tot}$
Tilslutning	[lm]	[W/mK]	[W/K]	[%]
Utovervendt veggjørne	9,6	0,033	0,319	6,3
Innovervendt veggjørne	0	-0,044	0,000	0,0
Etasjeskiljar	0	0,000	0,000	0,0
Golv – vegg	39,1	0,062	2,437	48,4
Vindaug – vegg	40,2	0,007	0,289	5,7
Dør – vegg	18,6	0,020	0,372	7,4
Tak – vegg	39,1	0,041	1,622	32,2
Andre kuldebruer			~ 0	0
<b>Sum kuldebrutap, <math>X_{tot} = \sum \Psi_i * l_i + \sum X_i</math></b>			<b>5,04</b>	<b>100</b>
<b>Normalisert kuldebruverdi, <math>\Psi''</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>0,056</b>	-

Ved å inkludere skorsteinen vert normalisert kuldebruverdi:  $\Psi'' = 0,087$  W/m<sup>2</sup>K. Dette er ei auke på 55 %.

Tabell 7-8. Geometrisk kuldebrurekneskap for Heimen.

HEIMEN	Total lengde, $l_i$	Kuldebru-verdi, $\Psi_{geo,i}$	Kuldebru-tap, $X_{geo,i}$	$X_{geo,i}/X_{geo}$
Tilslutning	[lm]	[W/mK]	[W/K]	[%]
Utovervendt hjørne	9,6	0,021	0,204	14,3
Innovervendt hjørne	0	-0,049	0,000	-
Golv – vegg	39,1	0,018	0,692	48,6
Tak – vegg	39,1	0,014	0,529	37,1
<b>Sum geometrisk kuldebrutap, <math>X_{geo} = \sum \Psi_{geo,i} * l_i</math> [W/K]</b>			<b>1,43</b>	<b>100</b>
<b>Normalisert, geometrisk kuldebruverdi <math>\Psi''_{geo}</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>0,016</b>	-

## 7.5 OPPSUMMERING

Dei normaliserte og normaliserte, geometriske kuldebruverdiane for dei fire eksempelbustadane er samla nedanfor i Tabell 7-9. Her er òg den prosentvise førekomsten av geometrisk bidrag til det totale varmetapet frå kuldebruene presentert i siste kolonne.

Tabell 7-9. Oppsummering av kuldebrutap og normalisert kuldebruverdi.

	$A_{BRA}$	Kuldebrutap	Normalisert kuldebruverdi	Geometrisk kuldebrutap	Norm., geo. kuldebruverdi	$\frac{X_{geo}}{X_{tot}}$
	[m <sup>2</sup> ]	$X_{tot}$ [W/K]	$\Psi''$ [W/m <sup>2</sup> K]	$X_{geo}$ [W/K]	$\Psi''_{geo}$ [W/m <sup>2</sup> K]	[%]
Asplund	166,6	5,7	0,034	1,3	0,008	22,9
Bris	198,4	6,3	0,033	1,7	0,009	27,5
Heia	143,0	6,3	0,044	1,4	0,010	22,6
Heimen	89,9	5,0	0,056	1,4	0,016	28,3

Det er eit tydeleg skilje mellom bustadane med to etasjar, Asplund og Bris, og dei med éin etasje, Heia og Heimen. Dei to fyrste klarar akkurat kravet til normalisert kuldebruverdi, medan dei to andre ikkje. Det er tydeleg at oppvarma bruksareal utgjer ein stor faktor for utfallet. Ved å sjå på reint varmetapet frå kuldebruene kjem det fram kor lite det vert endra, trass i stor skilnad i utforming av form og storleik. Heimen, trass i å ha det minste kuldebrutapet, kjem dårlegast ut når det gjeld normalisert kuldebruverdi. Dette vil vere ein direkte konsekvens av eit betydeleg mindre oppvarma bruksareal. Denne samanhengen er presentert og diskutert meir seinare i kapittelet.

Det er interessant å sjå kor lite den normaliserte, geometriske kuldebruverdien endrar seg for eksempelbustadane, trass i store skilnadar i normalisert kuldebruverdi. Dette gjeld spesielt for Heia samanlikna med dei to toetasjesbustadane, Asplund og Bris. Heia kompenserer for sitt vesle oppvarma bruksareal med innovervendte hjørne som reduserer varmetapet (fordi det korrigerer for varmetap som vert rekna dobbelt i U-verdien). Det geometriske kuldebrutapet er òg relativt stabilt, og dette skuldast store geometriske bidrag frå tak og golv, som er uavhengig av mengde etasjar. Asplund har «normal» lengde omkrins, men innovervendte hjørne. Heia har stor omkrins, men mange innovervendte hjørne som kompenserer. Heimen har liten omkrins, som er fordelaktig når geometriske kuldebruer dominerer. Bris har «normal» omkrins, men ingen innovervendte hjørne å gå i pluss på, og dermed den bustaden som kjem verst ut av det.

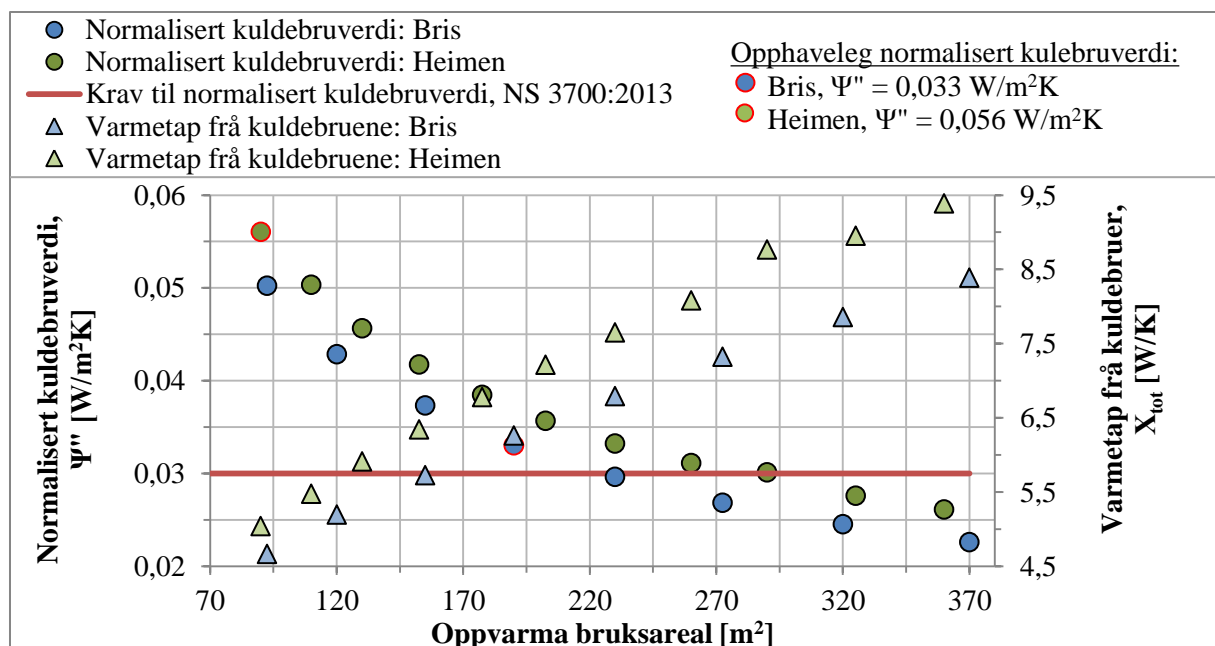
Det er viktig å presisere at utsegna om at Asplund og Bris tilfredsstillar kravet er med føresetninga at normalisert kuldebruverdi vert runda av til to desimalar. Tala i tabellen er likevel vist med tre desimal, for å få betre innsyn i variasjonane. Det er òg verdt å nemne at det var krevjande å oppnå så «gode» verdiar som Asplund og Bris enda opp med. Det optimaliserte byggesystemet er finspissa for å gjeva gode kuldebruverdiar, og likevel er det ikkje oppnådd «betre» normaliserte kuldebruverdiar.

## 7.6 NORMALISERT KULDEBRUVERDI MOT OPPVARMA BRUKSAREAL

Den normaliserte kuldebruverdien varierer ved endring av oppvarma bruksareal, men kor mykje? Det er vald å sjå på to av eksempelbustadane, Bris og Heimen, for å vurdere nettopp dette. Desse to er ytterpunkta frå dei presenterte kuldebrurekneskapane, med størst skilnad i utrekna normaliserte kuldebruverdi. Dei er òg vald på grunn av si rektangulære bygningsform, som gjer det enklare å endre oppvarma bruksareal ved endring av lengder på veggene.

Det er lengdene på ytterveggene som vert justert, og dette vert gjort ved å prosentvis legge på eller trekkje frå av dei opphavlege lengdene til ytterveggen med eit intervall på 10 %. For Bris er det sett på eit spenn frå – 30 % til + 40 %, medan Heimen frå 0 til + 100 %. Prosentvariasjonane er vald for å gjeva eit bilete av oppvarma bruksareal mellom 75-350 m<sup>2</sup>. I tillegg vert lengdemeter for vindauge endra i samsvar med endring av lengde til ytterveggane (prosentvis tillegg eller reduksjon). Med andre ord er den totale omkrinsen til vindauga auka med 20 % dersom det er dette som er gjort for veggane.

Det totale varmetapet frå kuldebruene er òg inkludert som ei sekundærakse. Desse punkta vil gjeva eit bilete på faktisk varmetap, i motsetning til den normaliserte kuldebruverdien der oppvarma bruksareal er blanda inn. Dei opphavlege normaliserte kuldebruverdiane til dei to bustadane er merka med raud omkrins rundt punkta. Det gjerast oppmerksom på at krav til normaliserte kuldebruverdi frå NS 3700:2013 er sett til 0,03 W/m<sup>2</sup>K, ikkje 0,034 som har vore praktisert her.



Figur 7-1. Normalisert kuldebruverdi som variabel av  $A_{BRA}$ , og varmetap frå kuldebruene.

Frå Figur 7-1 kjem det fram at trenden for dei utrekna normaliserte kuldebruverdiane endrar seg i takt med reduksjon/auke av oppvarma bruksareal. Det er tydeleg at sjølv om varmetapet aukar vert den normaliserte kuldebruverdien redusert. Dette kjem som ein konsekvens av at normaliserte kuldebruverdi er dividert oppvarma bruksareal. Ein større bustad vil ha eit større varmetap, men arealet korrigerer slik at han oppfyller kravet lettare enn ein mindre bustad vil

gjere. Er det «rettferdig»? Ved å setje ei raud linje som representerer kravet frå NS 3700:2013, kjem det fram kor statisk kravet er. Er det «rettferdig» at kravet er så statisk når ein ser kor mykje dei faktiske utrekna verdiane varierer? Det at normalisert kuldebruverdi følgjer ein heilt anna trend enn det faktiske varmetapet, indikerer at han kanskje ikkje er så eigna som kravsverdi.

Ved dei tilfella der oppvarma bruksareal for dei to bustadane er tilnærma likt er det framleis relativt stor skilnad i mengde varmetap frå kuldebruene. Bris kjem best ut, og det er naturleg anta at dette er ein konsekvens av mengde etasjar. Nok ein gong kjem det fram at det er fordelaktig å fordele oppvarma bruksareal over fleire etasjar. Dersom fokuset på avgrensa varmetap er så sterkt, kva intensiv har ein til å sikre universell utforming? Gjer dei høge krava til bygninga sin prestasjon at ein gløymer dei folka som skal bu der, og dei behova dei måtte ha?

## 8 RINGVERKNADAR AV KULDEBRUER

---

For å sjå korleis kuldebruene påverkar andre forhold i småhus, er dei resterande energikrava i NS 3700:2013 vurdert. Halvparten av dei utrekna normaliserte kuldebruverdiane er utanfor kravet, men kor mykje vil dette påverke dei andre krava til energi som er skildra i passivhusstandarden for bustadar. Dette er gjort ved å setje opp energibudsjet for dei fire eksempelbustadane. Verdiane som kjem ut vert samanlikna mot krava dei skal oppfylle i NS 3700. Dette vil gjeva eit bilete på korleis endring i kuldebruverdi påverkar andre energikrav.

Risiko for fukt er ei reel utfordring ved kuldebruer, grunna skilnad mellom overflatetemperatur og lufttemperaturen inne. Fukt i form av kondens og muggvekst vert derfor vurdert vidare.

### 8.1 ENERGIBUDSJETT

I dette kapitlet er resultatata frå energibudsjetta som er utført for dei fire eksempelbustadane samla. Resultata er kategorisert etter dei fire kravsbelagde kriteria i passivhusstandarden: Varmetapstal, minstekrav til normalisert kuldebruverdi, energibehov til oppvarming og energiforbruk av elektrisitet og fossilt brensel. I Tabell 8-1 er verdiane for den aktuelle bustaden presentert, saman med kravet for å oppfylle kriteriet. Verdiane som er merka med grøn oppfyller kravet i passivhusstandarden for bustadar, medan dei merka med raud ikkje gjer det.

Det er programmet TEK-sjekk Energi som er nytta for å lage energibudsjetta. Informasjon og data om dei fire eksempelbustadane vert lagt inn i Excel-arket som utgangspunkt, før normalisert kuldebruverdi vart nytta som variabel. Det er vist tre energibudsjet for kvar bustad: Eitt der utrekna normaliserte kuldebruverdien er sett inn (utan skorstein), eitt for normalisert, geometrisk kuldebruverdi og eitt der den normaliserte kuldebruverdien er sett lik null. Tanken er at sistnemnde skal vere eit referansepunkt for kva utfallet ville vorte dersom kuldebrufrie bustadar hadde vore mogleg.

Alle bustadane er lagt inn med sine bygningsutformingar, mengde vindauge, lengder og dimensjonar. Teknisk anlegg som ventilasjon, oppvarming osv. er felles for alle bustadane, og samsvarar med vanlege val for einebustadar og det som er kravd i passivhusstandarden. Sjå Vedlegg I for sentrale inndata for energiutrekninga ved dokumentasjon av kontrollutrekninga som er gjort for Asplund.

Hensikta med å utføre eit energirekneskap er å sjå kor mykje endring av den normaliserte kuldebruverdien påverkar dei andre kriteria som er sett i passivhusstandarden, og dermed sjå kuldebruene i ein større samanheng. Dette er diskutert vidare i kapitlet, der varmetapstal, energibehov ved oppvarming og energibruk av elektrisitet og fossilt brensel vert sett opp mot kuldebruene. Minstekrav til den normaliserte kuldebruverdien vil ikkje greiast ut om, ettersom det allereie er grundig teke for seg.

Tabell 8-1. Energibudsjett for eksempelbustadane.

	Minstekrav, $\Psi''$		Varmetapstal, $H''_{tr,inf}$		Energibehov, oppvarming		Energibruk el./fossil	
	[W/m <sup>2</sup> K]		[W/m <sup>2</sup> K]		[kWh/m <sup>2</sup> ]		[kWh/m <sup>2</sup> ]	
	Verdi	Krav	Verdi	Krav	Verdi	Krav	Verdi	Krav
Asplund	0,034		0,41		20,1		68,1	< 68,6
	0,008	≤ 0,03	0,39	≤ 0,48	17,8	≤ 19,6	65,7	< 66,3
	0,000		0,38		17,1		65,0	< 65,6
Bris	0,033		0,38		15,9		63,9	< 64,4
	0,009	≤ 0,03	0,36	≤ 0,48	14,0	≤ 18,4	61,8	< 62,5
	0,000		0,35		13,3		61,0	< 61,8
Heia	0,044		0,43		22,6		70,2	< 70,2
	0,010	≤ 0,03	0,40	≤ 0,48	19,4	≤ 20,9	67,7	< 67,9
	0,000		0,39		18,5		66,7	< 67,0
Heimen	0,056		0,47		24,4		73,1	< 72,9
	0,016	≤ 0,03	0,43	≤ 0,53	20,7	≤ 23,8	69,1	< 69,2
	0,000		0,42		19,3		67,6	< 67,8

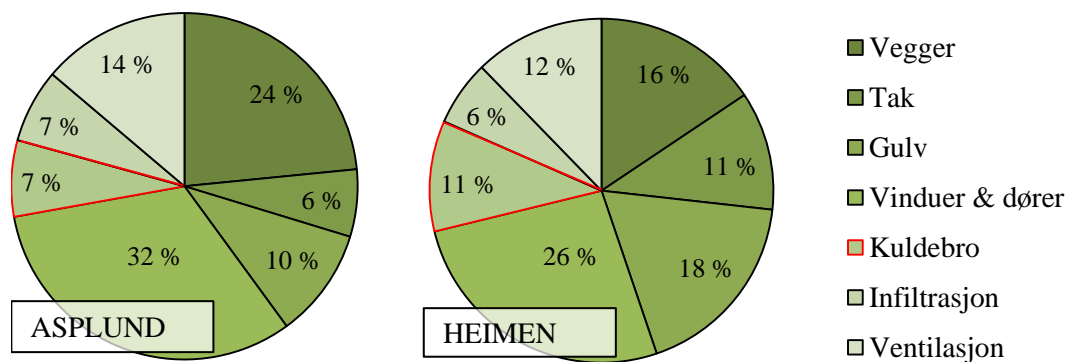
For energibudsjetta kjem det fram at for dei normaliserte, geometriske kuldebruverdiane og for normalisert kuldebruverdi lik null er det ikkje noko problem å oppfylle resten av krava passivhusstandarden har til energi. Med andre ord kan mengde kuldebruer vere avgjerande for om ein bustad klarar å oppnå passivhuskravet, men som ein ser av tabellen over, er det ofte prat om små marginar for å klare krava eller ikkje.

Ein ting å påpeike er at TEK-sjekk rundar av til nærmaste heiltal for energibehov. Dette gjer at både Asplund og Heimen kom innanfor passivhuskravet i programmet si vurdering fro dette kriteriet. TEK-sjekk godtek derimot ikkje Asplund og Bris sin normaliserte kuldebruverdi (gule verdiar), og ingen av bustadane vert dermed ikkje godkjend som passivhus. Det er altså veldig liten margin på det som skal inn i programmet, men kva med nøyaktigheit til dei utrekna verdiane som kjem ut av programmet.

### 8.1.1 VARMETAPSTAL

Varmetapstalet er det einaste kriteriet som ikkje er overskriden i noko av tilfella ovanfor. Dette er òg det kriteriet med jamt over best margin til utrekna verdiar. Litt ironisk er det dermed at det er under her kravet til normalisert kuldebruverdi kjem. Kvifor kan det ikkje vere litt meir slakk på denne verdien, når taket for sjølve varmetapstalet er så stort? Med så stort tak til varmetapstalet burde det vere dimensjonert for dette i energibehovet også. Det gjev derfor ikkje meining at energibehovet sprekk når varmetapstalet er langt innanfor.

For å sjå kor stort bidrag dei ulike komponentane gjev til varmetapstalet er det sett opp kakediagram for Asplund og Heimen. Her er prosentvis bidrag er visualisert. Det er teke utgangspunkt i desse to bustadane fordi dei er ytterpunkta for utforming av bygningskropp. Ein etasjes, kompakt bygningskropp med lite oppvarma bruksareal sett mot to etasjes ikkje-kompakt bygningskropp med større oppvarma bruksareal. Verdiane som er nytta for å lage kakediagramma vist i Figur 8-1 er henta frå TEK-sjekk Energi. Diagramma er basert på normaliserte kuldebruverdiar frå Tabell 7-9,  $\Psi'' = 0,034 \text{ W/m}^2\text{K}$  for Asplund og  $\Psi'' = 0,056 \text{ W/m}^2\text{K}$  for Heimen. Det totale varmetalet er høvesvis  $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$  og  $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$  for dei to bustadane.



Figur 8-1. Komponentane sin andel av det totale varmetapstalet for Asplund og Heimen.

Trass i sær s ulike bygningar, både med tanke på dimensjonar og bygningsutforming, er mengda prosentvise varmetap frå kuldebruene relativt likt: 7 og 11 %. Om ein skal ha eit statisk krav, ville det kanskje vore meir logisk å ha det opp mot det totale varmetapet frå kuldebruene, ikkje normalisert kuldebruverdi.

### 8.1.2 ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING

Kravet som er sett for energibehov til oppvarming er styrt av oppvarma bruksareal og årsmiddeltemperatur. Årsmiddeltemperaturen vil vere fast for alle eksempelbustadane, medan bruksareal i stor grad varierer. Dette gjev òg variasjonar til krava for dei ulike bustadane. Kunne dette vore ein måte å vurdere kravet til normalisert kuldebruverdi på også? Ved å variere krav i samsvar med mengde oppvarma bruksareal?

Frå Tabell 8-1 er det Asplund, Heia og Heimen som ikkje oppfyller kravet. Både Asplund og Heimen er veldig nærme kravet, trass i at Heimen sin normaliserte kuldebruverdi er 70 % større enn Asplund sin. Dette tyder på at normalisert kuldebruverdi ikkje vil vere avgjerande for om bustadane kjem innanfor kravet, men heller deira bygningsutforming. Skilnad i utrekna verdi og krav gjev ein indikator på kva for bygningsformer som er mest gunstig. Bris med stort oppvarma bruksareal, to etasjar og kompakt bygningsform kjem best ut. Deretter er Asplund og Heimen relativt jamne, med kvar sine fordelar og ulemper. Asplund har relativt stort bruksareal, to etasjar, men ikkje kompakt bygningskropp. Heimen på si side har eit lite areal, berre éin etasje, men ein kompakt bygningskropp. Heia kjem låkast ut, med sitt litt mindre oppvarma bruksareal, berre éin etasje og ein ikkje-kompakt bygningskropp.

Likevel er det tydeleg at normalisert kuldebruverdi har ein viss innverknad på energibehovet. For kvar bustad er det eit tydeleg skilje frå dei utrekna normaliserte kuldebruverdiane, og ned til dei utrekna normalisert, geometriske kuldebruverdiane. Krav til energibehov vil dermed ha ei naturleg avgrensing på den normaliserte kuldebruverdien. Kanskje er det ikkje nødvendig med krav til kuldebruer i det heile?

### 8.1.3 ENERGIBRUK AV ELEKTRISITET OG FOSSILT BRENSSEL

Det er med veldig liten margin at Heia og Heimen ikkje oppfyller kravet til energibruk av elektrisitet og fossilt brensel for utrekna, normalisert kuldebruverdi ( $\Psi''=0,044 \text{ W/m}^2\text{K}$  og  $\Psi''=0,056 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Generelt ligg alle verdiane nærme kravet, som er basert på total mengde energibehov og energibehov til oppvarming av tappevatn.

Ut i frå desse resultatata kan ein gjere to antakingar: Anten at energibruk vert påverka av normalisert kuldebruverdi, eller av oppvarma bruksareal. Om det er den eine eller andre er ikkje studien her omfattande nok til å svare på, men sidan normalisert kuldebruverdi er avhengig av oppvarma bruksareal, tydar resultatata på at det er arealet det heile botnar i. Mengde varmetap vil naturleg òg vere avgjerande, ettersom alle tilfella med normalisert, geometrisk kuldebruverdi og normalisert kuldebruverdi lik  $0 \text{ W/m}^2\text{K}$  er innanfor krava,

## 8.2 KONDENS OG MUGGVEKST

For å vurdere kondens og muggvekst er grenseverdier for dimensjonerande temperaturfaktor,  $f_{dim}$  og  $f_{dim,maks}$ , rekna ut. Desse verdiane er avhengig av fukttilskot og temperatur inne og ute. Vidare er formel for temperaturfaktor for konstruksjonen,  $f^*$ , definert og rekna ut for kvar av tilslutningane med kuldebruer. Risiko for fukt og muggvekst er vurdert for dei ulike kuldebruene ved å undersøke om dei oppfyller:

$$f^* \geq f_{dim,maks}$$

### 8.2.1 GRENSEVERDI FOR KONDENS

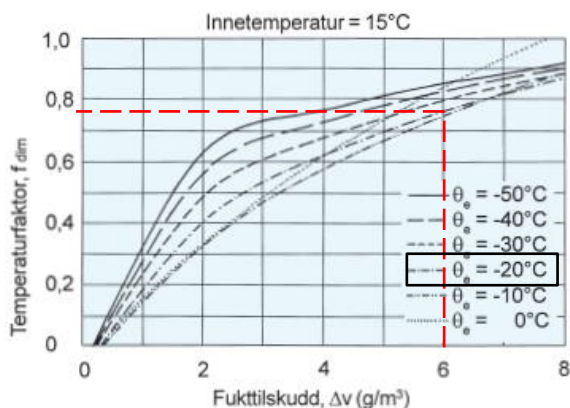
Fyrst må maksimalt fukttilskot avgjerast, akkurat som ved vurdering av muggvekst. Maksimalt fukttilskot er framleis;  $\Delta v = 6 \text{ g/m}^3$ , med same grunngeving som over. Vidare må lågaste tre-døgns middeltemperatur avgjerast, for det er denne som skal nyttast som utetemperatur. Denne verdien hentast frå Byggforskserien «Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring» (451.021). Lågaste tre-døgns middeltemperatur for Oslo er  $-19,8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Gjennomsnittleg temperatur inne er vald til  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  for dei kaldaste månadane, og ved å interpolere mellom verdiane for dimensjonerande temperaturfaktor frå Figur 8-2 og Figur 8-3 (henta frå Byggforskserien (471.111)), vert:

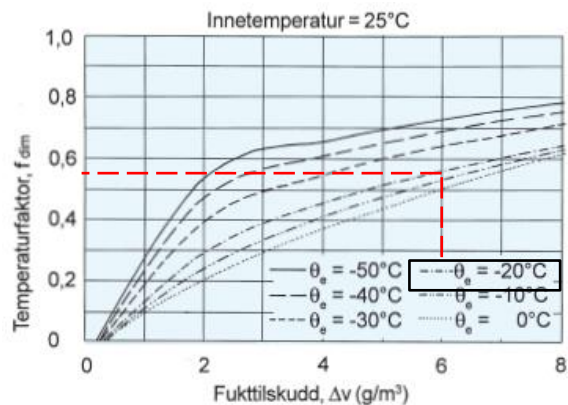
$$f_{dim} = \frac{f_{dim}(15^\circ\text{C}) + f_{dim}(25^\circ\text{C})}{2} = \frac{0,76 + 0,56}{2} = 0,66$$



Dimensjonerende temperaturfaktor er avhengig av mengde fuktilskot og temperatur inne og ute.



Figur 8-2. Dimensjonering mot overflatekondens, innetemperatur = 15 °C.

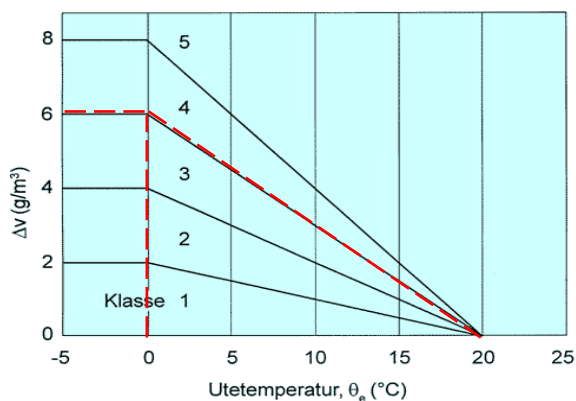


Figur 8-3. Dimensjonering mot overflatekondens, innetemperatur = 25 °C.

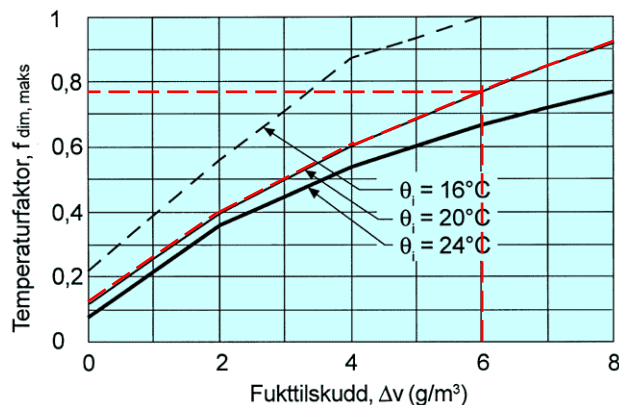
### 8.2.2 GRENSEVERDI FOR MUGGVEKST

For å finne dimensjonerende temperaturfaktor for muggvekst må maksimalt fuktilskot avgjerast. Eksempelbustadane kjem under «Fuktilskotsklasse 3: Bustad med få bebuarar». Maksimalt fuktilskot vil vere:  $\Delta v = 6 \text{ g/m}^3$  ved  $\theta_e \leq 0 \text{ °C}$  frå Figur 8-4.

Vidare er diagrammet i Figur 8-5 nytta, og med innvendig temperatur lik 20 °C vert dimensjonerende temperatur-faktor;  $f_{\text{dim,maks}} = 0,77$ .



Figur 8-4. Variasjon av innvendig fuktilskot



Figur 8-5. Dimensjonerende temperaturfaktor.

### 8.2.3 TEMPERATURFAKTOR FOR KONSTRUKSJON

Ein konstruksjon sin temperaturfaktor,  $f^*$ , er definert som:

$$f^* = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (5)$$

der:

- $\theta_{si}$  er innvendig overflatetemperatur til konstruksjonen [°C]
- $\theta_i$  er innvendig lufttemperatur [°C]
- $\theta_e$  er utvendig lufttemperatur [°C]

Dei innvendige overflatetemperaturane er henta ut frå THERM 7.2, og for kvar konstruksjon er det henta ut to verdiar. Lokalisering av uthenta verdiar frå THERM-modellane er vist i Figur 8-6, 8-7, 8-8, 8-9 og 8-10. Konstruksjonen sin temperaturfaktor er rekna ut i samsvar med formel (5), og det heile er samla i Tabell 8-3. Temperatur inne og ute er  $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $\theta_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  som tidlegare.

For golvet er tilfellet med IsoCon-beslag vald, ettersom denne gjev høgast varmestraum gjennom tilslutninga og vil vere det mest kritiske tilfellet.

Tabell 8-2. Overflatetemperatur med tilhøyrande temperaturfaktorar til konstruksjonane.

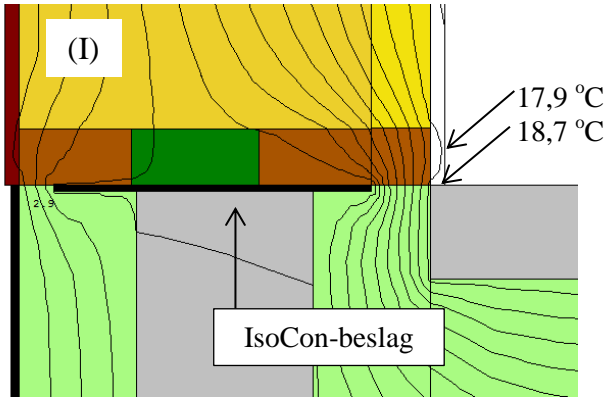
Konstruksjon	Lokalisasjon av overflatetemperatur	Overflate-temperatur	Konstruksjonen sin temperaturfaktor	Referanse
		$\theta_{si} \text{ [}^\circ\text{C]}$	$f^* \text{ [-]}$	
Golv på grunn	Tilslutning golv-vegg	18,7	0,94	Figur 8-6
	Utanfor botnsvill	17,9	0,90	
Tak	Underkant isolasjon	19,5	0,98	Figur 8-7
	Underkant himling	19,3	0,97	
Etasjeskiljar	Over etasjeskiljar	19,1	0,96	Figur 8-8
	Under etasjeskiljar	19,6	0,98	
Hjørne	Hjørne	18,6	0,93	Figur 8-9
	Omlag 30 mm frå hjørne	18,4	0,92	
Vindauge	Glas-ramme	17,4	0,87	Figur 8-10
	Karm-vindaugsbrett	16,2	0,81	

Verdiane for dimensjonerande temperaturfaktorar for kondens og muggvekst,  $f_{dim}$  og  $f_{dim,maks}$ , er samla i Tabell 8-3.

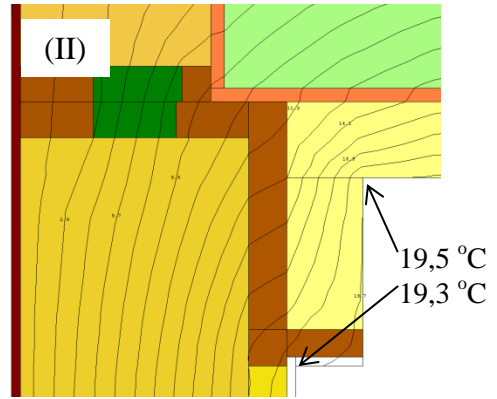
Tabell 8-3. Dimensjonerande temperaturfaktorar.

Kondens, $f_{dim}$	Muggvekst, $f_{dim,maks}$
0,66	0,77

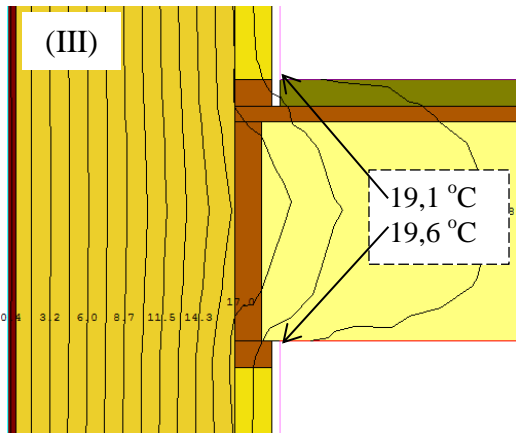
Sidan alle temperaturfaktorane til konstruksjonane overstig den dimensjonerande faktoren til både muggvekst og kondens, er ikkje fukt ein risiko for nokon av kuldebruene i samsvar med denne metoden. Sidan metoden er relativt konservativ og forenkla vil dei utrekna verdiane vere godt på den sikre sida. Fukt vil derfor ikkje vere ei grunngeving for å halde normalisert kuldebruverdi så låg, ettersom dei fleste tala har mykje margin å gå på.



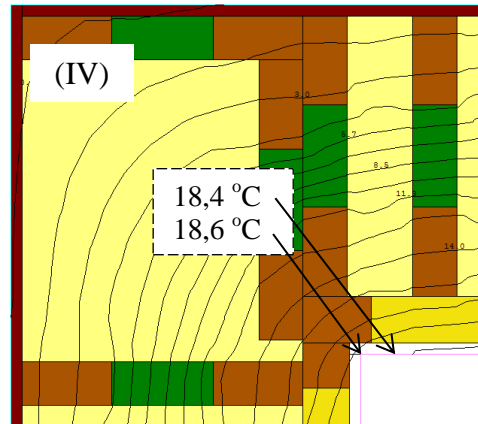
Figur 8-6. Uthenta verdier for overflatetemperatur ved golv på grunn.



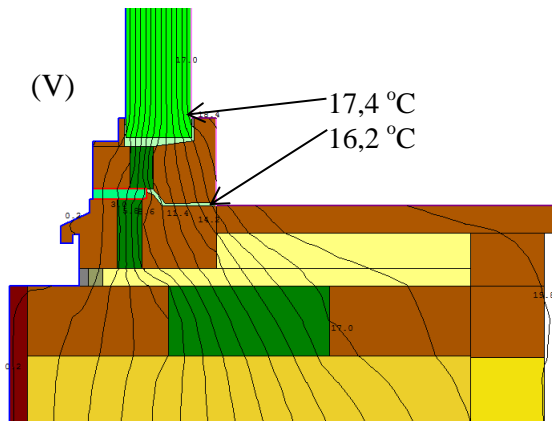
Figur 8-7. Uthenta verdier for overflatetemperatur ved flatt tak.



Figur 8-8. Uthenta verdier for overflatetemperatur ved etasjeskiljar.



Figur 8-9. Uthenta verdier for overflatetemperatur ved utovervendt hjørne.



Figur 8-10. Uthenta verdier for overflatetemperatur ved vindauge.



## 9 DISKUSJON

---

I dette kapitlet er resultatene som er relevante for problemstillinga diskutert. Målet er å leggje grunnlag for ein konklusjon. Dette vil fyrst omfatte kva som er realistiske verdiar for normaliserte kuldebruverdiar, og vidare om det er andre metodar som er meir hensiktsmessige når varmetap frå kuldebruer skal vurderast. Det presiserast at denne diskusjonen gjeld kuldebrutap i småhus. Diskusjonen vil ikkje berre vere aktuell for kravs-verdien i passivhusstandarden, men òg for dei nye energikrava i TEK som er under utarbeiding. DiBK ynskjer å fastsetje passivhus som forskriftskrav, men da må krava vera i samsvar med faktiske forhold. DiBK sine forslag til nye energikrav har vore ute til høyring, og Boligprodusentenes Forening er ein av partane som har kome med merknadar. Sidan dette er relevant for arbeidet som er gjort i denne masteroppgåva er det satt av eit kapittel til å kommentere Boligprodusentene sine merknadar som omfattar kuldebruer.

### 9.1 REALISTISKE NORMALISERTE KULDEBRUVERDIAR

Da passivhusstandarden vart vedteke i 2010 «kunne» ikkje kravet vere dårlegare enn TEK-kravet,  $\Psi'' \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Problemet er at da denne verdien vart innført i TEK 2007 var det eigentleg ikkje noko godt grunnlag for han, det var meir eit tenkt tal. Etter kvart kom det fram at verdien eigentleg er for ambisiøs, men dette har ikkje nådd korkje TEK eller passivhusstandarden. Det tøffe kravet er med andre ord eit resultat av manglande kunnskap, som kanskje er styrt av eit ynske om låge verdiar for å kunne oppfylle krav til energibehov.

I NS 3031:2014 er det gjeve standardverdiar til normalisert kuldebruverdi for ulike typar bærekonstruksjonar, og for bæresystem av tre er han sett til  $\Psi'' = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette er gjeve i Tillegg A, som omhandlar standardiserte inndata som kan nyttast ved forenkla kalkulering av kuldebruer. Dersom det er dette som sett på som ein realistisk verdi for trehus, er det eit veldig stort sprang ned til kravet som både TEK10 og passivhusstandarden arbeider etter. Det er òg verdt å merkje seg at Heimen fell utanom denne standardverdien, trass i å vere prosjektert med sær optimaliserte kuldebruverdiar. Det er tydeleg at variasjon i bygningsutforming og oppvarma bruksareal gjer det vanskeleg å fastsetje ein statisk verdi til den normaliserte kuldebruverdien. Kanskje ville det vere meir naturleg å gjeve standardverdiar kategorisert etter bæresystem og mengde oppvarma bruksareal?

Det er stor variasjon i dei normaliserte kuldebruverdiane som er kalkulert for dei fire småhusa frå Norgeshus. Dei utrekna verdiane spenn frå  $0,033\text{-}0,056 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ekskludert skorsteinen. To av eksempelbustadane kjem akkurat innanfor, dersom kravsverdien vert vurdert med to desimalar. Dette er dei to bustadane som spenn over to etasjar, og har eit relativt stort oppvarma bruksareal. Ved å inkludere skorsteinen vert spennet mellom  $0,051\text{-}0,087 \text{ W/m}^2\text{K}$ , og ikkje overraskande vert verdiane brutalt auka. Den store variasjonen i utrekna normaliserte kuldebruverdiane er i stor grad ein konsekvens av variasjon i oppvarma bruksareal. I Figur 7-1 er oppvarma bruksareal endra for dei to kompakte eksempelbustadane, Bris og Heimen. Langs y-aksane er normalisert kuldebruverdi og totalt varmetap frå kuldebruene. Her kjem det fram at det er lite samsvar mellom varmetap frå kuldebruene og den verdien som skal oppfylle

passivhuskravet. Medan varmetapet stig når oppvarma bruksareal aukar, minkar den utrekna normaliserte kuldebruverdien. Dette gjer det aktuelt å vurdere andre metodar for å vurdere kuldebrutap.

Byggjesystemet er optimalisert, og gjev relativt låge kuldebruverdiar når utgangspunktet er tungt isolerte bygningsdelar. Det heile tyder på at kravet i NS 3700:2013 er for ambisiøst for småhus. For at minstekrav ved bruk av normalisert kuldebruverdi skal dekkje utrekna verdiar for dei fire eksempel bustadand må kravet doblast til  $\Psi'' \leq 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dersom skorsteinen skal inkluderas tydar resultatet på at kravet må aukast ytterlegare til om lag  $\leq 0,09\text{-}0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette er ei tre-dobling av dagens krav. For å sjå om det er mogleg å redusere denne verdien er det i neste kapittel teke for seg mogleg forbettringspotensiale for dei bygningstilslutningane der kuldebruene oppstår.

## 9.2 TILGJENGELEG FORBETRINGSPOTENSIALE

Tilslutningane det er mest aktuelt å forbetre er dei med størst prosentvis varmetap. Dette vil delvis vere avhengig av kuldebruverdi, men enda meir av mengde løpemetar kuldebruene spenn seg over. Små kuldebruverdiar kan akkumuleras over store lengder, medan store kuldebruverdiar ikkje treng å utgjere så mykje ved kort utstrekning. I Tabell 9-1 er siste kolonne i dei fire kuldebrurekneskapane frå Tabell 7-1, 7-3, 7-5 og 7-7 samla. Tala viser den prosentvise mengda varmetapet ei tilslutning utgjer av det totale varmetapet for den enkelte bustaden. Tanken er å gjere det enklare å samanlikne tilslutningane. Det er òg inkludert ein kolonne som viser gjennomsnitt av tilslutninga sitt prosentvise varmetap. Hensikta er å gjeva eit bilete på kvar det løner seg å gjere forbetringar. Dersom bygningstilslutninga bidreg med eit stort varmetap, burde det sjåast på moglegheita for å optimalisere ho ytterlegare.

Den siste kolonnen skildrar prosentvis kor mykje det geometriske varmetapet utgjer per komponent, henta frå Tabell 6-7. Mengde geometrisk bidrag frå kuldebruene er avgjerande for kor mykje det er mogleg å redusere kuldebruverdien til dei enkelte tilslutningane, sidan dette er varmetap det ikkje er mogleg å unngå. Det geometriske bidraget fortel altså noko om tilgjengeleg forbettringspotensiale

Tabell 9-1. Komponentane sin prosentvise andel av totalt varmetap.

Tilslutning	% -vis mengde av totalt varmetap, $X_i/X_{tot}$ [%]					$\Psi_{geo,i}/\Psi_i$ [%]
	Asplund	Bris	Heia	Heimen	Gjennomsnitt	
Utovervendt vegghjørne	21,1	11,0	12,6	6,3	12,6	63,9
Innovervendt vegghjørne	-12,1	-	-10,1	-	-11,1	110,8
Etasjeskiljar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Golv – vegg (ringmur)	45,6	40,7	51,4	48,4	46,5	28,4
Vindauge – vegg	13,0	17,2	8,0	5,7	11,0	-
Dør – vegg	2,2	4,0	3,9	7,4	4,4	-
Tak – vegg	30,3	27,1	34,2	32,2	31,0	32,6

Basert på gjennomsnittleg varmetap for bygningstilslutningane i Tabell 9-1 er det sett opp ei liste som rangerar kva bygningstilslutning det er viktigast å forbetre. Om denne lista er i samsvar med *tilgjengeleg* forbettringspotensiale vil vise seg.

1. Golv-vegg (ringmur)
2. Tak-vegg
3. Utovervendt hjørne
4. Vindauge
5. Dør
6. Etasjeskiljar

Golv har den største andelen varmetap hjå alle eksempelbustadane. Med mellom 40-50 % av det totale varmetapet frå kuldebruene i eit småhus er det mykje å vinne på betre løysingar. Ved å sjå på kor mykje det geometriske utgjør, i underkant av 30 %, kan det tyde på at det faktisk er tilgjengeleg forbettringspotensiale. Når ein ser på oppbygging av ringmuren er det klart at mykje av varmetapet kjem frå betongen. Å redusere mengde betong vil vere fordelaktig for å redusere varmetap gjennom kuldebrua, men når vil det gå utover dei lastberande eigenskapane? Betongen si tjukk er antakeleg allereie dimensjonert for å tilfredsstillast lastene som skal førast ned i fundamentet, og det er truleg at det ikkje er rom for ytterlegare reduksjon. Andre alternativ er å tilleggsisolere rundt ringmuren, men dette vert fort dyre og arbeidssame løysingar som truleg gjev lite effekt for sjølve brukaren.

Det same gjeld for taket, som har det nest største bidraget med omlag 30 % for alle bustadane. Det er ikkje uventa at golv og tak representerer størsteparten av tapa, som følgje av at dei spenn over mange løpemetar og har dei største kuldebruverdiane. Den geometriske andelen ligg i overkant av 30 %, men kor mykje meir av materialbidraget det er mogleg å redusere er usikkert. Det er allereie minimale mengder treverk i tilslutninga, og desse er til gjengjeld utført med eit kuldebrubrytande lag ved bruk av Iso3-stendere.

Prosentvis mengde varmetap frå utovervendte hjørne varierer veldig, noko som kjem av stor skilnad i mengde løpemetar. Asplund kjem verst ut, med sju utovervendte hjørne og to etasjar. Ytterpunktet vil vere Heimen som har minimum mengde utovervendte hjørne som spenn over berre ei etasje. Bris og Heia hamnar litt i midten som variasjonar av begge. Den geometriske andelen kuldebrutapet er veldig stor for utovervendt hjørne, nesten 65 %. Konsekvensen av dette er at mengde forbettringspotensiale vil vere avgrensa, ettersom det er urealistisk å fjerne materialbidraget heilt.

Kuldebrutap frå vindauge varierer òg veldig, som i hovudsak skuldast om bustaden har ein eller to etasjar. Vindaug har allereie ein svært liten kuldebruverdi, og dette gjer det urealistisk å håpe om ytterlegare forbettringspotensiale. Til tross for den vesle kuldebruverdien er prosentvis varmetap på høgde med dei utovervendte hjørna for bustadane med rektangulær form, Bris og Heia. Hjørna har ein kuldebruverdi som er neste fem gongar så stor som vindaug. Dette viser kor mykje mengde løpemetar påverkar kuldebrurekneskapen.

Dørene utgjør lite som konsekvens av få løpemeter. Det er vanskeleg å seie noko om tilgjengeleg forbettringspotensiale når ein ikkje har eit bilete av korleis opphavleg tilslutning ser ut. Kanskje vil det vere mogleg å gå frå «normal» mengde kuldebru til «liten» rundt sidene og overkant av døra, men det er lite truleg å kunne forbetre verdien under terskelen.

Etasjeskiljaren er eigentleg ikkje relevant i ei slik liste, ettersom han allereie er så bra som han kan verte. Tidlegare i oppgåva har tanken om negativ kuldebruverdi for etasjeskiljaren vore trekt fram, men det er usikkert kor mykje potensiale som ligg her. Å skulle overkompensere etasjeskiljaren for å senke normalisert kuldebruverdi verkar uansett som ei løysing der fokuset ligg i å oppnå pene tal.

Det heile tyder på at det er lite tilgjengeleg forbettringspotensiale å hente hjå bygnings-tilslutningane som er nytta her. Dette leiår mot å vurdere andre byggjesystem, dersom det er ynskjeleg å byggje hus som er enda meir optimalisert når det gjeld kuldebruer. Om dette er hensiktsmessig er ei anna side av saka.

### **9.3 METODAR FOR Å VURDERE KRAVSVERDI TIL KULDEBRUER**

Resultata og diskusjonen indikerer at dagens krav til normalisert kuldebruverdi er for ambisiøst. Kanskje er heller ikkje minstekrav den mest eigna måten å vurdere kuldebrutap på. For å foreslå nye/andre metodar for å vurdere varmetapet frå kuldebrueane må ein stille seg eit spørsmål: *Kva ynskjer ein å oppnå?* Dersom målet er at passivhus skal verte forskriftskrav i 2020, må kravet vere i samsvar med faktiske forhold *samstundes* som det sikrar dei kvalitetane eit passivhus skal ha. Eit anna aspekt er forenkling av regelverk, som er ei målsetjing frå regjeringa i følgje Boligprodusentene (2015). Her er det påpeikt at både forskriftskrava og dokumentasjon som viser at krava er tilfredsstillt, ikkje bør vere meir kompliserte enn nødvendig. Vidare er det argumentert at eit enklare regelverk vil gjere det enklare og meir føreseieleg å følgje opp i praksis. Å kombinere enkeltheit med grundig dokumentasjon av krav kan verte ei utfordring.

Så lengje det totale varmetapstalet er innfridd, burde krav til energibehov ha rom for ein høgare verdi enn dagens krav til normalisert kuldebruverdi. Dette vil vere tilfelle for alle alternativa som er presentert vidare.

#### **9.3.1 HEVE MINSTEKRAV**

Dersom minsteverdi til normalisert kuldebruverdi skal nyttast som kravsform, er det klart at kravet må hevast for å kunne representere alle formar og storleikar av bustadar. Dei fire kuldebrurekneskapane som er utført er ikkje nok til å fastsetje ein slik verdi, men resultata indikerer at han ikkje bør vere mindre enn  $\Psi'' = 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Førre kapittel konkluderer med at det er lite forbettringspotensiale i det valde byggjesystemet, og det strider imot å foreslå ein lågare verdi. Frå Tabell 8-1 er det klart at det er rom for dette i varmetapstalet, spesielt sidan krav til varmetap er auka for bustadar med oppvarma bruksareal mindre enn  $100 \text{ m}^2$ . Dette er større enn standardverdien for bygningar med bæresystem av tre gjeve i NS 3031:2014, og kanskje burde denne justerast også.



### 9.3.2 FJERNE KRAV TIL KULDEBRUER

Eit alternativ er å fjerne krav til kuldebruer. Varmetap frå kuldebruene vil dermed verte teke omsyn til under varmetapstalet. Passivhus er bygningar som byggjast med mykje isolasjon og stor tettleik, og resultat frå fuktvurdering tilseier at tilslutningane i seg sjølv ikkje byr på problem. Kanskje er ikkje kuldebruene noko å bekymre seg for lenger?

Å fjerne kravet vil vere litt som dagens praksis med omfordeling av varmetap i TEK 10. Omfordeling skjer her innanfor utrekna varmetap basert på kravsverdiar til dei andre bygningsdelane, men det er ikkje noko minstekrav til sjølve varmetapstalet, slik det vil vere i passivhusstandarden. Metode for dette er gjeve i Byggforskserien (471.023). Å fjerne kravet vil vere ei forenkling av omfordelingsprinsippet, men i praksis vil det ha veldig likt resultat. Det strenge kravet til energibruk avgrensar automatisk mengde kuldebruer. Krav til energibruk er styrt av oppvarma bruksareal, slik at mindre bustader har meir å gå på. Dette kan utnyttast for den normaliserte kuldebruverdien, som treng meir å gå på for dei mindre bustadane.

### 9.3.3 JUSTERE KRAV ETTER OPPVARMA BRUKSAREAL

Energibehov og den normaliserte kuldebruverdi viser den same trenden for dei kalkulererte verdiane: Verdiane aukar når oppvarma bruksareal minkar. Figur 7-1 stadfestar dette ved å vise korleis normalisert kuldebruverdi til Bris og Heimen endrar seg ved å endre lengder og oppvarma bruksareal. Krav til energibehov for oppvarming er justert etter bustaden sin storleik. Kanskje er dette ein meir eigna måte å velje ein kravsverdi til normalisert kuldebruverdi. I følgje Tabell 8-1, med påfølgjande diskusjon, tyder det på at energibehov er meir avhengig av huset sin form enn mengde varmetap frå kuldebruer. Dermed burde ikkje kravet til energibehov verte direkte påverka av at krav til normalisert kuldebruverdi får eit høgare tak, så lengje varmetapstalet er innanfor. Figur 7-1 viser kor statisk kravsverdien ser ut, trass i kor stor variasjonen det er i dei utrekna verdiane. Eit meir dynamisk krav vil i stor grad dekkje meir av faktiske forhold. Nye kravsverdiar kan definerast ved hjelp av en formel som avheng av oppvarma bruksareal, slik det er for energibehov. Det vil vere enda enklare å velje ut kravsverdiar og lage ein tabell, sjå døme i Tabell 9-2. Dette er same metode som er nytta for høgaste varmetapstal for transmisjons- og infiltrasjonstap i NS 3700:2013. Kravsverdiane er vald med utgangspunkt i resultatata utarbeida her, men fleire kuldebru-rekneskapar burde gjennomførast før eventuell endeleg tabell fastsettast.

Tabell 9-2. Døme på kravsverdiar til normalisert kuldebruverdi avhengig av  $A_{BRA}$ .

	Normalisert kuldebruverdi, $\Psi''$ [ $W/m^2K$ ]		
Passivhus, småhus	$A_{BRA} < 100 \text{ m}^2$	$100 \text{ m}^2 \leq A_{BRA} < 150 \text{ m}^2$	$A_{BRA} \geq 150 \text{ m}^2$
	0,06	0,05	0,04

### 9.3.4 KRAVSVERDI TIL KULDEBRUVERDI, $\Psi$

Ein av konsekvensane av kuldebruer er låge overflatetemperaturar som kan føre til fuktproblem. Etter å ha vurdert risikoen for muggvekst og kondens for dei valde

byggningsdetaljane viser det seg at fukt ikkje er noko problem for dei kuldebruene som er nytta her. Dette vert støtta opp av Holme (2010) si doktorgradsavhandling, som seier at nye hus med mekanisk ventilasjon er lite utsett for muggvekst. Vidare seier avhandlinga at helseproblem som allergi og astma ikkje kan sjåast i samanheng med fukt i hus, og dermed er ikkje dette ei grunngeving for å halde kravet til normalisert kuldebruverdi så låg som det er.

Den normaliserte kuldebruverdien fortel heller ikkje noko om korleis dei enkelte kuldebruene utartar seg, dette er poengtert i ein prosjektrapport som omhandlar passivhusløyningar i trehus av Klinski, et al. (2011). Dette er eit interessant synspunkt, ettersom det er nettopp kuldebruene som er kritiske for fukt, og dermed viktige å kvalitetssikre. Minstekrav til bygningstilslutningane sin kuldebruverdi,  $\Psi_i$ , er ein måte å sikre «gode» kuldebru. Dette kan anten gjerast ved minstekrav til kuldebruverdiane, eller ved å setje opp «typiske verdiar». Sistnemnde er dagens praksis for U-verdiar til vegg, tak og golv i passivhusstandard for bustadar, NS 3700:2013, Tillegg B. Komponentane må òg oppfylle minstekrav i TEK10.

Denne metoden er ikkje i utgangspunktet i samsvar med regjeringa si målsetjing om eit enklare regelverk, sidan kvar enkel kuldebruverdi må identifiserast. Likevel vil det ikkje by på meir arbeid enn dagens praksis, sidan kuldebruverdiane uansett må finnast for å rekne ut normalisert kuldebruverdi slik det er krav om ved dokumentasjon og attesting av passivhus.

Kravsverdiane kan fastsetjast ved å sjå på kva som er akseptabelt av innvendig overflate-temperaturar. Dette kan òg vere i samsvar med kritiske punkt for fukt. Hensikta vil vere å sikre eit godt innemiljø. Det strenge kravet til energibehov og varmetapstal vil uansett vere med å regulere kor mykje varmetap ein kan sleppe ut.

Det går an å sjå for seg at pre-aksepterte løysingar med gjevne kuldebruverdiar kan utarbeidast. Byggforskerien er allereie på god veg med sitt Kuldebruatlas, der kuldebruverdiar er rekna ut for tilhøyrande byggningsdel. Tabellverdiar til løysingar som er innanfor det fastsette kravet vil gjere det mogleg for folk å vere «eingongsbyggheerrar», som ikkje har same kompetansenivå eller tilgang på verktøy for å avgjere kuldebruverdi. Kravsverdi til kuldebruverdien vil òg gjeva produsentar av, til dømes, ringmurssystem noko å produsere etter. Med ein fastsatt kravsverdi, er det ikkje tvil om kva kvalitet produktet skal ha, og dette vil òg gjere det lettare for kjøpar.

#### **9.4 BOLIGPRODUSENTENE SINE HØYRINGSMERKNADAR TIL NYE ENERGIKRAV**

Direktoratet for byggkvalitet, DiBK, har sendt ut forslag om skjerping av energikrava i dagens byggtekniske forskrift til høyring. Forslag til endringane er utført av DiBK og Multiconsult, og målet er å innføre passivhusnivå som forskriftskrav. Høyringsmerknadar frå Bustadprodusentene (2015) vart publisert 15. mai 2015, og dette er særskilt aktuelt for arbeidet som er gjort her. Det er derfor ynskjeleg å kommentere noko av dei merknadane som er gjort for krav til normalisert kuldebruverdi i småhus.

DiBK foreslår å fjerne energitiltaksmodellen, og dermed berre behalde rammekravsmodellen. Som utgangspunkt for fastsetjing av rammekrav er det halde på at den normaliserte kuldebru-

verdien framleis skal vere  $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Boligprodusentene meiner dette er urealistisk strengt, trass i at verdien er uendra frå TEK10. Dei kommenterer vidare at konsekvensvurderinga for kuldebruer er særdeles tynn, og at det tyder på mangelfull kunnskap om kva som krevjast for å oppnå den låge kravsverdien for bustadar. Dette gjeld både for småhus og bustadblokker.

Boligprodusentene anbefalar å behalde energitiltaksmodellen som eit alternativ for bustadar, i tillegg til rammekravsmodellen. Deira erfaring er at dei aller fleste i småhusmarknaden nyttar tiltaksmodellen, men at han òg vert nytta ved utbygging av leilegheiter. Rammemodellen er meir komplisert, med mange detaljerte inndata for å kunne vurdere netto energibehov. Dette gjer han mindre eigna for småhusmarknaden, som ofte sit med ein anna kompetanse enn dei større byggjeprojekta. Derfor er det viktig å tilpasse krav slik at privatpersonar kan halde fram å byggje hus, utan å måtte dra inn større konsulentfirma.

Anbefalinga Boligprodusentene gjev for småhus er å auke kravet til normalisert kuldebruverdi til  $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Bakgrunn for anbefalinga er ikkje gjeve, men det er fastsett at  $0,03$ -kravet er urealistisk. Dei anbefalar vidare å fjerne minstekrav for alle bygg ved rammekravsmodellen (gjeld ikkje fritidsbustadar). Sidan energitiltaka som rammekrava er basert på er så ambisiøse, vil det vere lite rom for omfordeling slik DiBK foreslår. Minstekrav har dermed mista sitt formål, samstundes som å fjerne det vil forenkle regelverket.

Mykje av anbefalingane og diskusjonen er i samsvar med det denne masteroppgåva har kome fram til. Dagens krav til normalisert kuldebruverdi er for ambisiøs, og grunnlag og bakgrunn for kravsverdien er mangelfull. Likevel kan det viser det seg at kravet Boligprodusentene foreslår,  $\Psi'' = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kan verte tøft å oppnå for dei minste småhusa. Det er ikkje diskutert alternative metodar for å vurdere krav til kuldebruer i DiBK sitt forslaget, men kanskje er dette noko som er fornuftig å inkludere. Elles støttast forslaget om å behalde modellen med energitiltak for bustadar. Dette vil vere ei avgjersle som er basert på marknaden sitt behov, ikkje berre for dei store konsulentfirmaa, men òg for dei mindre aktørane.

For å kunne lage gode passivhus, er det viktig å sikre forståing av kva som krevjast og dermed betre gjennomføring og eit betre sluttprodukt. Det er i dag både kurs og handbøker som gjev betre innføring for dei involverte i prosjekteringsfasen, med hensikt om å sikre nettopp dette. Døme på dette er NITO sitt kurs «Prosjektering av passivhus» (NITO, 2015) og handboka utarbeida av SINTEF Byggforsk, «Energieffektive boliger for fremtiden» (Dokka, et al., 2012).

Uansett om kravet til kuldebruer vert endra i framtidige standardar, bør tekniske forskrifter og standardar ha eit klårare presisjonsnivå på kva som skal inkluderast i varmetapet frå kuldebruene. Per definisjon er kuldebruer eit tilfelle der omsluttande konstruksjon sin varmemotstand vert endra på grunn av gjennomtrenging av materiale med høgare varmeledningsevne, endring i konstruksjonstjukk eller skilnad i inn- og utvendig overflateareal. Med andre ord er det fleire kuldebruer i ein bustad som ikkje vert inkludert i den vanlege kuldebrurekneskapan. Døme på dette er gjennomføringar i omsluttande konstruksjon til ventilasjon, drenering av takvatn, røyr og el ned i grunnen, men òg ljospottar i taket. Desse,

og resten av kuldebruene som ikkje er inkludert, vil gjeva eit betydeleg bidrag når dei vert samla opp. Om dei bør inkluderast eller ikkje er ikkje ein diskusjon som vert teke opp her, men dette bør presiserast i forskriftene og standardane.

## 10 KONKLUSJON

---

Etter at kuldebrurekneskap for fire bustadar med ulik bygningskropp er gjennomført, er det klart at det er eit stort spenn i utrekna normalisert kuldebruverdi: Frå 0,033 til 0,056 W/m<sup>2</sup>K. Verdiane viser seg å i stor grad vere avhengig av oppvarma bruksareal. Småhusa med to etasjar og oppvarma bruksareal > 150 m<sup>2</sup> kjem akkurat innanfor kravet i passivhusstandardane  $\Psi'' \leq 0,03$  W/m<sup>2</sup>K, dersom ein berre ser på kravsverdien med to desimalar. Dei to småhusa med éin etasje er langt utanfor dagens passivhuskrav til kuldebruer. Ved å inkludere kuldebrutap frå skorsteinen vert alle kuldebrurekneskapane sprengt (ytterlegare). Byggjesystemet er optimalisert for å skape minst mogleg kuldebruer, men likevel er det vanskeleg å tilfredsstille kravet til normalisert kuldebruverdi.

Det uunngåelege geometriske bidraget legg avgrensingar på potensiell forbetring av bygningsdetaljane som lager kuldebruer. Når dette er sett opp mot dei bygningsdetaljane det er ynskjeleg å forbetre, viser det seg at det er lite tilgjengeleg forbettringspotensiale. Det er klart at fleire byggjesystem bør undersøkast.

Dei andre krava i passivhusstandarden for bustadar, varmetap, energibehov og energiforbruk verkar ikkje som dei einsarta vert påverka av storleiken til normalisert kuldebruverdi. Bygningsform og mengde oppvarma bruksareal ser ut til å vere avgjerande for om desse faktorane kjem innanfor krava sine. Frå eit fuktperspektiv er det ikkje fare for kondens eller muggvekst ved nokon av dei valde bygningsdetaljane. Fuktvurderinga går heilt inn på dei enkelte kuldebruene, og er uavhengig av oppvarma bruksareal. Risiko for fukt er derfor ikkje eit gyldig argument for å behalde det låge kravet til normalisert kuldebruverdi.

Det er klart at fire småhus ikkje er nok underlag til å avgjere ein ny kravsverdi, men resultatane gjev ein indikator på kva han må omfatte. For å dekkje dei minste småhusa bør ikkje ein kravsverdi vere mindre enn 0,06 W/m<sup>2</sup>K. Dette er det dobbelte av dagens krav til normalisert kuldebruverdi i passivhusstandarden for småhus, NS 3700:2013. Det store spriket stadfester den tidlegare utsegna om at dagens kravsverdi vart vald på feil grunnlag.

Ein del av oppgåva er å sjå på alternative metodar for å vurdere varmetapet frå kuldebruene. Dei alternative metodane som er diskutert er:

1. Auke minstekravet til normalisert kuldebruverdi.
2. Fjerne minstekrav til kuldebruer.
3. Justere minstekrav til normalisert kuldebruverdi i samsvar med oppvarma bruksareal.
4. Krav til kuldebruverdi,  $\Psi$  [W/mK].

Alle alternativa er sett med føresetnad om at det framleis er krav til varmetapstalet. Så lengje varmetapstalet er innanfor sitt krav, burde det heller ikkje gå utover kravet til energibehovet.

Av desse alternativa, er det ein kombinasjon av to av dei som vert anbefalt. Det er viktig å presisere at dette er ei anbefaling basert på dei kalkulerde resultatane og dei erfaringane eg har gjort meg i samband med denne masteroppgåva.

På bakgrunn av diskusjonen ovanfor anbefalast det at krav til normalisert kuldebruverdi vert fjerna. Den opphavlege metoden for å vurdere varmetapet frå kuldebruer, botnar i liten grad i *kva* ein eigentleg ynskjer å regulere med kravet. Det hjelp ikkje at den normaliserte kuldebruverdien er innanfor, dersom enkeltkomponentar/-tilslutningar ikkje kan gjeva eit tilfredsstillande inneklima. Eller det som kanskje har vist seg å vere tilfelle her: Det er ikkje hensiktsmessig å ha ein låg kravsverdi som krev eit byggjesystem som kanskje kostar meir enn det smakar. Varmetapet til kuldebruene bør framleis inkluderast i det totale varmetapstalet, slik at ein maksimumsverdi for varmetapet er sikra.

Likevel er det viktig å sikre god kvalitet på bygningstilslutningane som gjev tilfredsstillande kuldebruer for å unngå fuktproblem og liknande. Det er nemleg ikkje realistisk å sjå for seg kuldebrufrie bustadar med den metoden som er nytta for val av lengder ved vurdering av varmetap i Noreg. Det anbefalast derfor at det setjast minstekrav eller «typiske verdiar» til kuldebruverdiane,  $\Psi$ . Sidan desse verdiane uansett må reknast ut for å kunne vurdere normalisert kuldebruverdi, vil det ikkje føre til meirarbeid enn det som er dagens praksis for godkjenning av passivhus. Kuldebruverdiane må uansett reknast ut for å kunne inkludere kuldebrutapet i varmetapstalet.

Uansett korleis varmetapet frå kuldebruer vert vurdert i framtida, så er det klart at tekniske forskrifter og standardar bør ha eit klårare presisjonsnivå på *kva* som skal inkluderast i varmetapet frå kuldebruene.

## 11 VIDARE ARBEID

---

Vidare arbeid vil omfatte undersøkingar som kan gjeva eit enda betre grunnlag for å vurdere kva som er realistiske normaliserte kuldebruverdiar småhus. Dette vil innebere å sjå på fleire eksempelbustadar med enda større variasjon i bygningsutforming. Undersøkingane bør òg inkludere forverringar i bygningskroppen, som utspring til balkong og liknande. Det er ingen grunn til å sjå på «beste tenkjelege tilfelle», for det er ofte ikkje dette som vert bygd. Andre byggjesystem bør òg vurderast, for å gjeva eit breiare diskusjonsgrunnlag.

Ventilasjon og drenering er dømer på kuldebruer som ikkje er inkludert i dagens kuldebruerekneskapar. Like fullt har dei eit varmetap dersom ein skal følgje definisjonen av kuldebruer, antakeleg eit varmetap av betydeleg verdi. Om desse skal vere med i rekneskapane er ein diskusjon som må takast. Dersom dei vert vurdert som «vanlege» kuldebruer, slik skorsteinen byrjar å verte, bør det utarbeidast tabellverdiar for ulike produkt.

Utprøving av andre lokalisasjonar enn Oslo er noko det hittil ikkje har vore lagt vekt på, men dette er òg aktuelt med vidare arbeid. Kva skjer med kuldebruverdiane dersom ein forverrar utvendig klima drastisk, og korleis påverkar det normalisert kuldebruverdi og/eller energibudsjetta. Kuldebruverdiar vert rekna ut ved utvendig temperatur;  $\theta_e=0$  °C, men mange stadar i Noreg sitt langstrakte land vil store delar av året ha ein temperatur lågare enn dette. Kan ein seie det så banalt som at det er juks å vurdere kuldebruene ved ein slik temperatur, når faktiske forhold er mykje verre? Ein senka utetemperatur vil verke negativt for kuldebruverdien (i form av auka verdi), men er dette noko det bør takast omsyn til?

Det er framleis lite som er gjort på området rundt dei geometriske kuldebruene. Sidan dei gjev grunnlag for å vurdere tilgjengeleg forbettringspotensiale ved reduksjon av varmetap frå kuldebruene, er dette aktuelt i vidare arbeid rundt kuldebruer. Dette bør òg innebere retningslinjer for numerisk utrekning av geometrisk kuldebruverdi, som det ikkje fins noko om enda.

Denne masteroppgåva er berre teoretisk utforma når det gjeld resultat og diskusjon. Derfor kunne det vore aktuelt å sjå på kuldebruene i ein meir praktisk form. Anten i form av laboratorieforsøk eller ute i felten.

Uansett kva vidare arbeid fokuserer på, er det viktig å hugse at hovudfunksjonen til ein bustad er å gjeva menneske ein trygg og komfortabel stad å bu. Det er derfor dette som burde vere den endelege føresetnaden for prosjektering, bygging og drift av bygg.





## REFERANSELISTE

---

Bolig Enøk (2015) *Kyotopyramiden [Illustrasjon]*. Tilgjengeleg frå:  
<http://www.boligenok.no/kyotopyramiden/> [Henta: 06.02.2015]

Boligprodusentene (2015) *Boligprodusentenes høringsmerknader. Nye energikrav til bygg*. Oslo, 15. mai 2015: Boligprodusentenes Forening

Byggforskserien (2012) 451.021. *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2013) 471.010. *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningmaterialer*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (1999) 471.016. *Kuldebroer. Metoder for å bestemme kuldebroverdi*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2011) 471.018. *Generelle energikrav til bygninger. Krav til energieffektivitet ved energiltak*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2011) 471.023. *Omfordeling av varmetap ved fravik av krav til energiltak*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (1999) 471.111. *Beregningsmetode for å unngå kondens eller muggvekst på innvendige overflater*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2012) 471.401. *U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2013) 471.403. *U-verdier. Vegger over terreng – bindingsverk av I-profiler av tre*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2012) 471.411. *U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2013) 472.051. *Kuldebroverdier for tilslutninger mellom bygningsdeler. Grunnlag for beregninger*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2015) 472.212. *Bruksanvisning for energiberegningsprogrammet TEK-sjekk Energi*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2013) 472.911. *Kuldebroverdier. Skorstein av lettklinkerbetonelementer og isolert trebjelkelag*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2012) 521.111. *Golv på grunnen med ringmur. Utførelse*. SINTEF Byggforsk

Byggforskserien (2008) 522.355. *Etasjeskiller med trebjelkelag. Varmeisolering og tetting*. SINTEF Byggforsk

- Decheva, L. M. (2012) *Vinder for energieffektive bygninger - Kuldebroer ved vindusinnsetting*. Masteroppgåve. NTNU
- DiBK (2010a) *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK10). § 14-3. Energiltak*.
- DiBK (2010b) *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK10). § 14-7. Energiforsyning*.
- DiBK (2011) *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK10). Veiledning*.
- Dokka, T. H. and Andresen, I. (2012) *Energieffektive boliger for fremtiden*. Håndbok. Trondheim: SINTEF Byggforsk
- Edvardsen, K. I. and Ramstad, T. (2006) *Håndbok 53 Trehus*. Oslo: SINTEF Byggforsk
- Glava (2015a) *Skumplast, EPS/XPS*. Tilgjengeleg frå: [http://www.glava.no/produkter/skumplast\\_-epsxps/styrofoam-xps\\_-perimate-di-a-n/](http://www.glava.no/produkter/skumplast_-epsxps/styrofoam-xps_-perimate-di-a-n/) [Henta: 10.03.2015]
- Glava (2015b) *Yttervegg av Iso3 med innvendig påføring [Illustrasjon]*. Tilgjengeleg frå: <http://www.glava.no/bygg/bygningskonstruksjoner/yttervegger/stender-av-iso3-med-innvendig-paforing/> [Henta: 09.03.2015]
- Gullbrekken, L., Kvande, T. and Roald, B. (2012) *Geometriske kuldebroers innvirkning på normalisert kuldebroverdi*. Notat. Trondheim: Passivhus Norden
- Gustavsen, A., Thue, J. V., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S. and Uvsløkk, S. (2008) *Kuldebroer - Beregning, kuldebroverdien og innvirkning på energibruk*. Prosjektrapport 25. Oslo: Sintef Byggforsk
- Holme, J. (2010) *Mould growth in buildings*. Doktorgradsavhandling. Trondheim: NTNU
- Hunton (2014a) *Hunton Silencio 36*. Tilgjengeleg frå: <http://www.hunton.no/product/hunton-silencio-36/> [Henta: 27.02.2015]
- Hunton (2014b) *Hunton Vindtett*. Tilgjengeleg frå: <http://www.hunton.no/product/hunton-vindtett> [Henta: 29.09.2014]
- Høilund-Kaupang, H., Blom, P., Uvsløkk, S. and Gullbrekken, L. (2012) *Beregning av kuldebroverdier for golv på grunn*. ZEB-Project report 7. Oslo: SINTEF Byggforsk
- Høilund-Kaupang, H., Gullbrekken, L., Vågen, M., Uvsløkk, S., Roald, B. and Karlsson, N. (2013) *Interne retningslinjer for beregning av kuldebroer for tilslutninger mellom bygningsdeler*. Notat. Oslo: SINTEF Byggforsk
- Klinski, M., Bøhlerengen, T. and Dokka, T. H. (2011) *Passivhusløsninger basert på trekonstruksjoner*. Prosjektrapport 86. Oslo: SINTEF Byggforsk
- Lotherington, P. B. (2012) *Ildstedbransjen slår tilbake: Folk vil ha vedovn*. Tilgjengeleg frå: <http://byggmesteren.as/2012/09/20/ildstedbransjen-slar-tilbake-folk-vil-ha-vedovn/> [Henta: 20.11.2014]

Moelven (2015a) *ISO3*. Tilgjengeleg frå: <http://www.moelven.com/no/Produkter-og-tjenester/Iso3/> [Henta: 26.02.2015]

Moelven (2015b) *Iso3 Isolert trestender (Teknisk brosjyre)*. Tilgjengeleg frå: <http://www.moelven.com/ImageBank/Brosjyre%20nettutgave%203.opplag.pdf> [Henta: 20.03.2015]

Myhre, L., Schild, P. G., Pteersen, T. D., Blom, P. and Gullbrekken, L. (2012a) *Veileder for prosjektering av passivhus - småhus*. Prosjektrapport 105. Oslo: SINTEF Bygforsk

Myhre, L., Schild, P. G. P., Trine D, Blom, P. and Gullbrekken, L. (2012b) *Veileder for prosjektering av passivhus - småhus*. Prosjektrapport 105. Tabell 2.4-5. Oslo: SINTEF Bygforsk

Myhre, L., Schild, P. G. P., Trine D, Blom, P. and Gullbrekken, L. (2012c) *Veileder for prosjektering av passivhus - småhus*. Prosjektrapport 105. Tabell 2.4-3. Oslo: SINTEF Bygforsk

NITO (2015) *Prosjektering av passivhus (kurs)*. Tilgjengeleg frå: <http://www.nito.no/Kurs/Oversikt-over-alle-kurs/bygg-og-anlegg/Prosjektering-av-passivhus1/> [Henta: 13.05.2015]

Norgeshus (2015a) *Detaljeteikning av etasjesklijar frå Norgeshus*.

Norgeshus (2015b) *Kataloghuset Asplund [Bilete]*. Tilgjengeleg frå: <http://www.norgeshus.no/hus/asplund> [Henta: 08.04.2015]

Norgeshus (2015c) *Kataloghuset Bris [Bilete]*. Tilgjengeleg frå: <http://www.norgeshus.no/hus/bris> [Henta: 08.04.2015]

Norgeshus (2015d) *Kataloghuset Heia [Bilete]*. Tilgjengeleg frå: <http://www.norgeshus.no/hus/heia> [Henta: 08.04.2015]

Norgeshus (2015e) *Kataloghuset Heimen [Bilete]*. Tilgjengeleg frå: <http://www.norgeshus.no/hus/heimen> [Henta: 08.04.2015]

NS-EN ISO 6946:2007 *Bygningskomponenter og -elementer. Varmemotstand og varmegjennomgang. Beregningsmetode*. Brussel: Standard Norge

NS-EN ISO 10077-2:2012 *Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder - Beregning av varmegjennomgangskoeffesient - Del 2: Numerisk metode for karm og ramme*. Standard Norge

NS-EN ISO 10211:2007 *Kuldebroer i bygningskonstruksjoner. Varmestrømmer og overflatetemperaturer. Detaljerte beregninger*. Standard Norge

NS-EN ISO 14683:2007 *Kuldebroer i bygningskonstruksjoner. Lineær varmegjennomgangskoeffesient. Forenklete beregningsmetoder og normalverdier*. Standard Norge

- NS 3031:2014 *Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*. Standard Norge
- NS 3700:2013 *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*. Standard Norge
- NS 3701:2012 *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger*. Standard Norge
- NTNU og SINTEF (2007) *Enøk i bygninger*. Trondheim: Gyldendal Norske Forlag
- Passivhaus Institut (2006) [Bilete] *Passivhaus cross-section*. Tilgjengeleg frå: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Passivhaus\\_section\\_en.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Passivhaus_section_en.jpg) [Henta: 19.11.2014]
- SINTEF Byggforsk (2014) *Om Byggforskserien*. Tilgjengeleg frå: <http://bks.byggforsk.no/PortalPage.aspx?pageid=44> [Henta: 19.11.2014]
- SINTEF Certification (2010) *Nr. 2144. Jackon Ringmur*. Gyldighetsdato: 01.07.2019: SINTEF Byggforsk
- SINTEF Certification (2010) *Nr. 2610. Iso3-stenderen*. Gyldighetsdato: 11.10.2015: SINTEF Byggforsk
- Svare, L. H. (2014) *Kuldebrurekneskap og vurdering av geometriske kuldebruer for ein bustad prosjektert som passivhus*. Prosjektoppgåve.
- Thue, J. V. (2010) *Husbyggingsteknikk. Bygningsfysisk grunnlag, kapittel 1-3*. Trondheim



## MASTEROPPGÅVE

(TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgåve)

VÅREN 2014

for

Liv Høijord Svare

### Krav til normaliserte kuldebroverdiar for småhus eller Requirement for thermal bridges in buildings

#### BAKGRUNN

Ei kuldebru er definert som ein del av ein omsluttande konstruksjon der den elles einsretta varmemotstanden blir endra betydeleg av ein eller fleire av punkta nedanfor:

1. Heil eller delvis gjennomtrenging av den omsluttande konstruksjonen av material med høgare varmekonduktivitet
2. Endring av tjuknaden til konstruksjonen
3. Ein skilnad mellom innvendig og utvendig areal, som ved overgangar mellom vegg/golv/tak, også kalla geometrisk kuldebru.

Kuldebruverdien gir kvantitativt kor stort varmetap ei kuldebru fører til. Summen av varmetapet frå alle kuldebruene i ein bygning, dividert med oppvarma bruksareal, blir kalla normalisert kuldebruverdi. Både Byggtknisk forskrift (TEK10) og dei norske passivhusstandardane NS 3700:2013 og NS 3701:2012 stiller krav til den normaliserte kuldebruverdien. I TEK10 § 14-3 som gir krav til energiltak, sett den øvre grensa for normalisert kuldebruverdi i småhus til  $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette er også kravet i dei to passivhusstandardane. Det er ein pågåande diskusjon om kor realistisk kravnivået er og om det er andre måtar å gi energikrav til bygningar på. Spørsmålet er ekstra aktuelt i pågåande utgreiing av nye energikrav i Byggtknisk forskrift.

#### OPPGÅVE

Hovudmålet med oppgåva er å vurdere:

1. kor realistisk kuldebrukravet i dei norske passivhusstandardane er for småhus.
2. om det er meir egna metodar å gi kravet på for småhus.

Studien vil omfatte gjennomrekning av eksempelbusadar med tanke på kuldebruer og konsekvensane av dei.

Masteroppgåva er ei fortsetting av arbeidet utført i forprosjektet hausten 2014. Det er naturleg å ta utgangspunkt i Demohuset (Asplund) og sjå kva som vil krevjast for å få denne bygningen til å klare kravet til normalisert kuldebruverdi.

## GENERELT

Oppgåveteksten er meint som ei ramme for kandidatens arbeid. Justeringar vil kunne skje undervegs, når ein ser korleis arbeidet går. Eventuelle justeringar må skje i samråd med faglærar ved instituttet.

Ved vurderinga vert det lagt vekt på grundigheit i arbeidet og sjølvstendigheit i vurderingar og konklusjonar, samt at framstillinga er velredigert, klår, eintydig og ryddig utan å vere unødig voluminøs.

Det innleverte arbeidet skal innehalde:

- standard rapportframside (automatisk frå DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finn ein på sida <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- samandrag på norsk og engelsk (studentar som skriv masteroppgåve på eit ikkje-skandinaviske språk og som ikkje handterer eit skandinaviske språk, treng ikkje skrive samandrag av masteroppgåva på norsk)
- hovudteksten
- oppgåveteksten (denne teksten signert av faglærar) som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformast som ein vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneheld da de same punktane som beskrivi over, men der hovudteksten omfattar ein vitenskapelig artikkel og ein prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskriving ved prosjektarbeid og masteroppgåve oppheldar seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppaver>

### Kva skal innleverast?

Rutinar knytt til innlevering av masteroppgåva er nærare forklart på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgåva skal tingast via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgåva til instituttkontoret 2-4 dagar seinare. Instituttet betalar for 3 eksemplar, der instituttet skal ha 2 eksemplar. Ekstra eksemplar må kostast av kandidaten/ ekstern samarbeidspartnar.

Ved innlevering av oppgåva skal kandidaten levere ein CD med arbeidet i digital form i pdf- og word-versjon med underliggjande materiale (til dømes innsamla data) i digital form (t.d. excel-filer). Vidare skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (frå DAIM) der både Ark-Bibl i SB I og Fellestenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med dei aktuelle signaturane skal underskrivast av instituttkontoret for skjemaet vert levert til Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samla inn under arbeidet med oppgåva, skal leverast inn saman med oppgåva.

Arbeidet er etter gjeldande reglement NTNU sin eigedom. Eventuell bruk av materialet kan berre skje etter godkjenning frå NTNU (og ekstern samarbeidspartnar der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatane av arbeidet til undervisnings- og forskingsformål som om det var utført av ein tilsett. Ved bruk ut over dette, som utgjeving og annan økonomisk bruk, må det inngåast særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtalar om ekstern rettleiing, gjennomføring utanfor NTNU, økonomisk stonad m.m. gjer ein greie for her når dette er aktuelt. Sjå <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

**Helse, miljø og sikkerheit (HMS):**

NTNU legg stor vekt på tryggleiken til den enkelte arbeidstakar og student. Tryggleiken til den enkelte skal kome i første rekke og ingen skal ta unødige sjansar for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgåva få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerheit ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgåva skal delta i feltarbeid, tokt, synfaring, feltkurs eller ekskursjonar, skal studenten setje seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m." Dersom studenten i arbeidet med oppgåva skal delta i laboratorie- eller verkstadarbeid skal studenten setje seg inn i og følgje reglane i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumenta finn ein på fakultetet sine HMS-sider på nettet, sjå <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studentar har ikkje full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom ein student ønskjer same forsikringsdekning som tilsette ved universitetet, vert det tilrådd at han/ho teiknar reiseforsikring og personskadeforsikring. Meir om forsikringsordningar for studentar finn ein under same lenke som ovanfor.

**Oppstart og innleveringsfrist:**

Oppstart og innleveringsfrist er i samsvar med informasjon i DAIM.

**Faglærer ved instituttet:** Tore Kvande

**Veileder (eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner:**  
Lars Myhre, Boligprodusentenes Forening

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU  
Dato: 14.01.2015, (revidert: 02.06.2015)

Underskrift



Faglærer

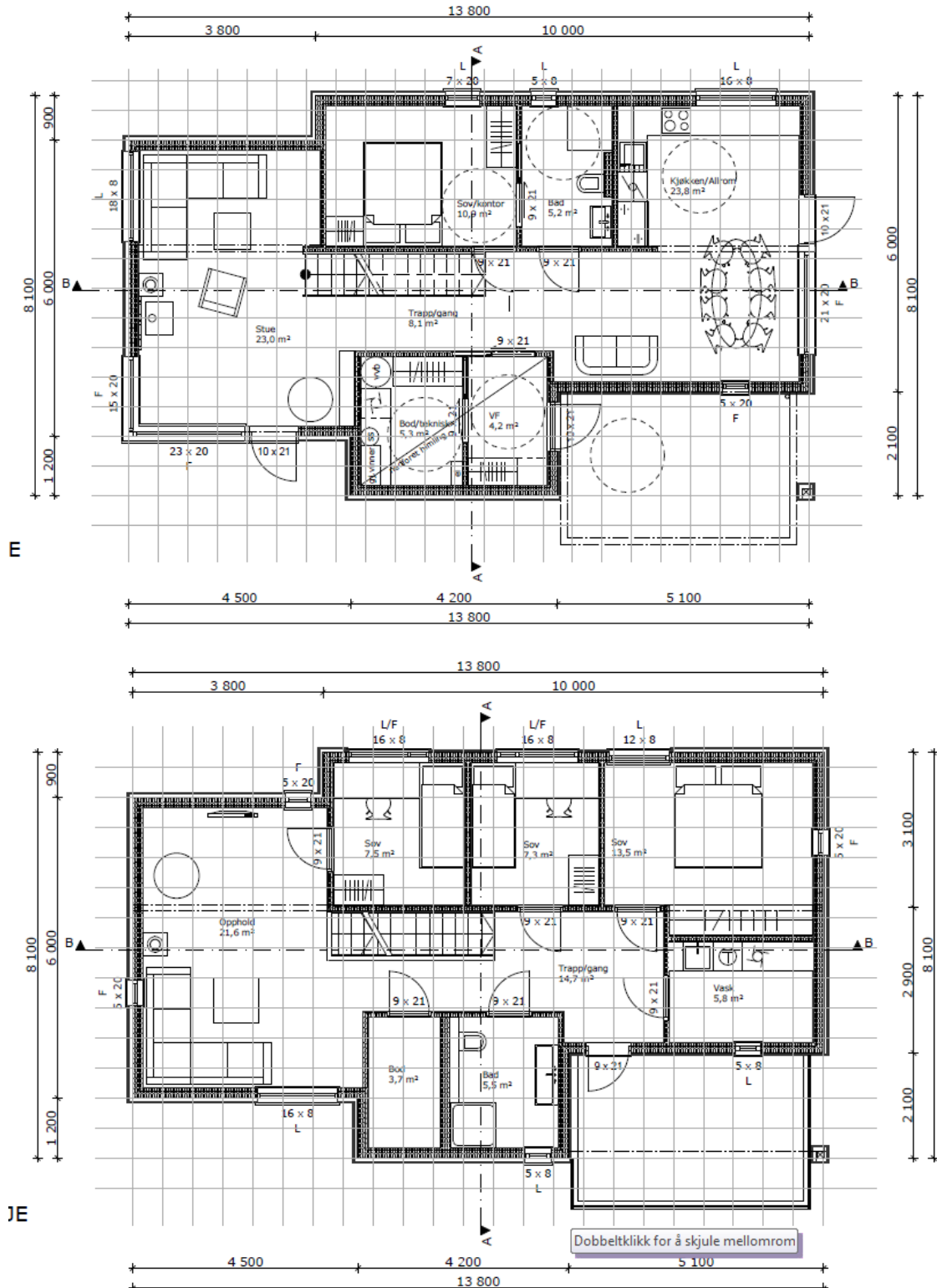




# VEDLEGG B – PLANTEIKNINGAR

Planteikningane er motteke frå Noregshus sitt kundesenter v/Snorre Bjørkum. Merk at oppbygging av yttervegger tilfredsstillar TEK10 krav, ikkje passivhus.

## B.1. ASPLUND



Figur B-1. Planteikningar for Asplund: 1. etasje og 2. etasje.

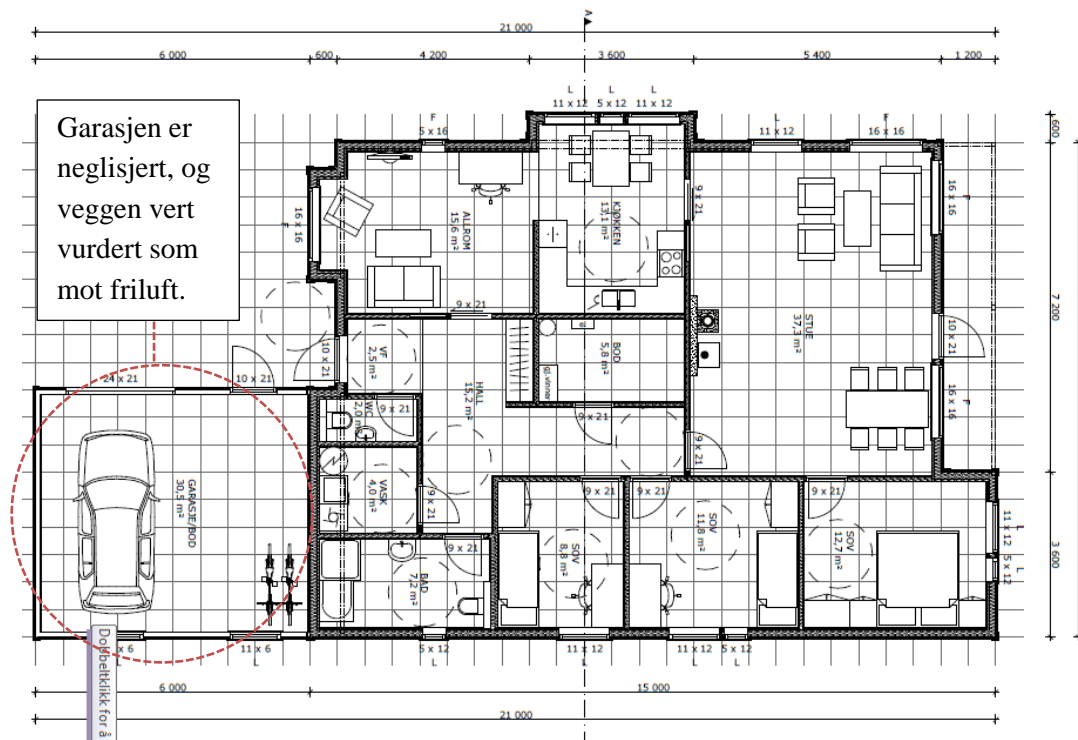
## B.2. BRIS

Vindfanget er  
neglisjert for å  
skape ein  
rektangulær  
bygningsskropp



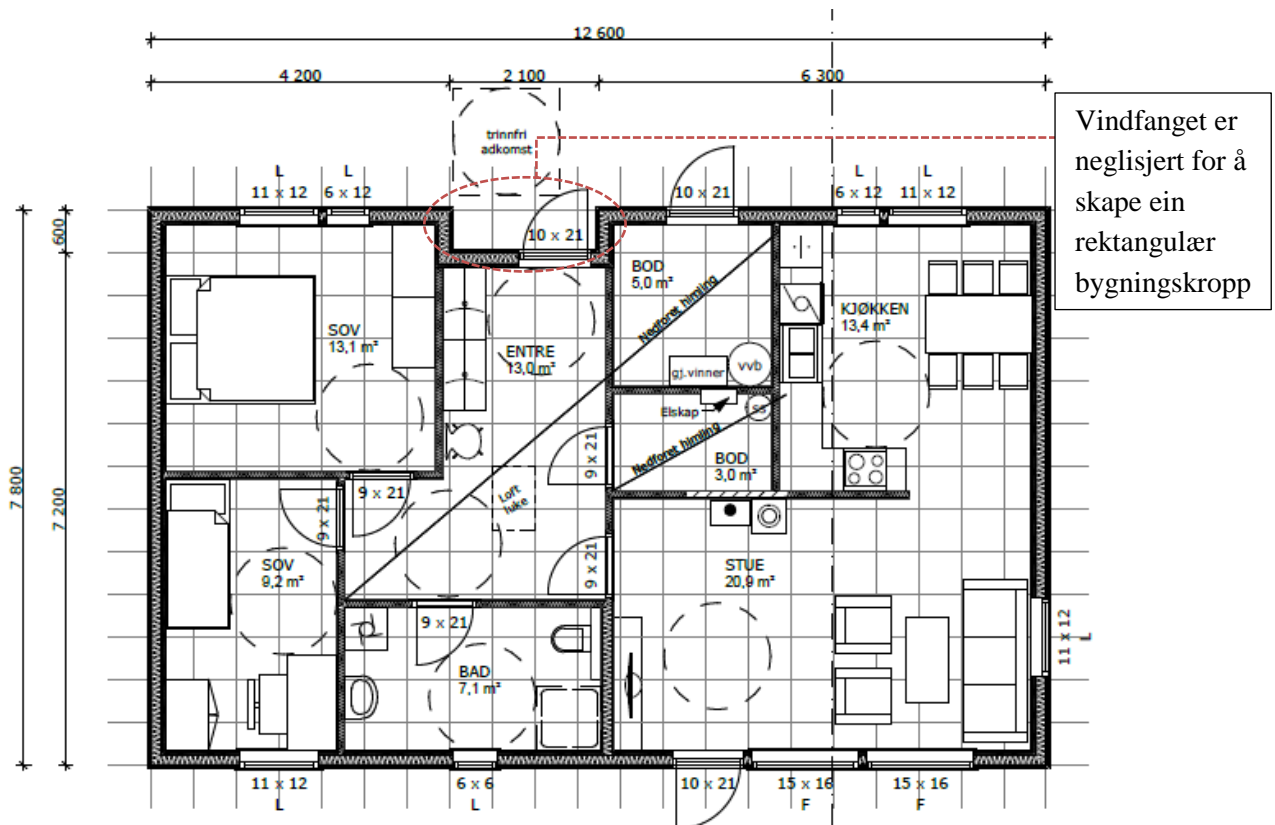
Figur B-2. Planteikningar for Bris: 1. etasje og 2. etasje.

### B.3. HEIA



Figur B-3. Planteikning for Heia.

### B.4. HEIMEN



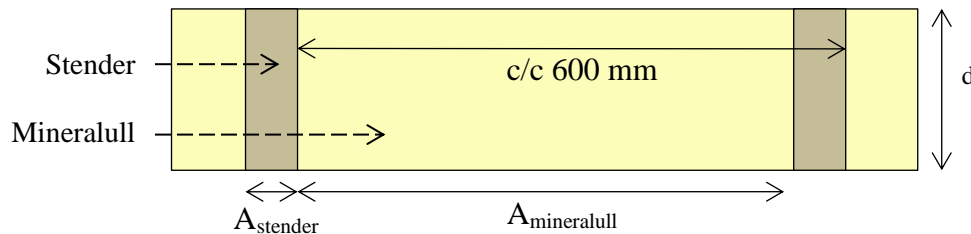
Figur B-4. Planteikning for Heimen.

## VEDLEGG C – LEGERTE SJIKT

For å forenkla utrekningane i THERM er levert varmekonduktivitet for påføring, isolert bindingsverk og parapet kalkulert. Framgangsmåte for utrekning av samansette sjikt er henta frå Trehusboka av Edvardsen, et al. (2006). Varmekonduktivitetane er henta frå Tabell 5-3, og dei relevante verdiane er samla i .

Materiale	$\lambda$ [W/mK]	Referanse
PUR i Iso3-stender	0,03	(SINTEF Certification, Nr. 2610)
Trevirke i Iso3-stender	0,12	(SINTEF Certification, Nr. 2610)
Trevirke	0,13	(Byggforskserien, 471.010)
Mineralull	0,033	(Byggforskserien, 471.010)

Figur C-1 viser ei forenkla prinsipp-teikning på korleis arealandelane er vurdert.



Figur C-1. Prinsipp av arealfordeling, horisontalsnitt av bindingsverk.

### C.1. PÅFØRING

Det er vald å montere ei 50 mm påføring på innsida av det isolerte bindingsverket. Treandel for påføringa er 8 % med ei stenderavstand på c/c 0,6 mm.

Utrekning av varmemotstand, øvre grenseverdi:

$$R'_T = \frac{\Sigma A}{\Sigma \frac{A}{R_T}} = \frac{A_{stender} + A_{iso}}{\frac{A_{stender}}{d_{stender}/\lambda_{stender}} + \frac{A_{min.ull}}{d_{min.ull}/\lambda_{min.ull}}} = \frac{0,08 + 0,92}{\frac{0,08}{0,05/0,13 \frac{m^2K}{W}} + \frac{0,92}{0,05/0,033 \frac{m^2K}{W}}}$$

$$= 1,23 \frac{m^2K}{W}$$

Utrekning av varmemotstand, nedre grenseverdi:

$$R''_T = \frac{d}{\Sigma A_i * \lambda_i} = \frac{d}{A_{stender} * \lambda_{stender} + A_{min.ull} * \lambda_{min.ull}} = \frac{0,050 m}{(0,08 * 0,13 + 0,92 * 0,033) \frac{W}{mK}}$$

$$= 1,23 \frac{m^2K}{W}$$

**Total varmemotstand:** 
$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{(1,23 + 1,23) \frac{m^2 K}{W}}{2} = 1,23 \frac{m^2 K}{W}$$

**Legert varmkonduktivitet for påføring:** 
$$\lambda_{p\ddot{a}foring} = \frac{0,050m}{1,23 \frac{m^2 K}{W}} = 0,041 \frac{W}{mK}$$

## C.2. ISOLERT BINDINGSVERK I VEGG

Bindingsverket i veggens består av iso3-stendarar med avstand c/c 0,6 m. Stenderne har tjukk 47 mm. Sidan topp- og botnsvill vil teiknast inn i THERM-modellen er stenderandel tilnærma 8 %:

Utrekning av varmemotstand, øvre grenseverdi:

$$R'_T = \frac{\Sigma A}{\Sigma \frac{A}{R_T}} = \frac{A_{stender} + A_{iso}}{\frac{A_{stender}}{d_{PUR}/\lambda_{PUR} + d_{tre}/\lambda_{tre}} + \frac{A_{min.ull}}{d_{min.ull}/\lambda_{min.ull}}}$$

$$R'_T = \frac{0,08 + 0,92}{\frac{0,08}{0,109/0,03 \frac{m^2 K}{W}} + 2 * \frac{0,0955}{0,12 \frac{m^2 K}{W}} + \frac{0,92}{0,300/0,033 \frac{m^2 K}{W}}} = 8,53 \frac{m^2 K}{W}$$

Utrekning av varmemotstand, nedre grenseverdi:

$$R''_T = \frac{d}{\Sigma A_i * \lambda_i} = \frac{d}{A_{stender} * \lambda_{stender} + A_{min.ull} * \lambda_{min.ull}}$$

Legert verdi for  $A_{stender}$ :

$$\lambda_{stender} = \frac{d_{stender}}{R_{stender}} = \frac{d_{stender}}{d_{PUR}/\lambda_{PUR} + d_{tre}/\lambda_{tre}} = \frac{0,300m}{(0,109/0,03 + 0,191/0,12) \frac{m^2 K}{W}} = 0,0574 \frac{W}{mK}$$

$$R''_T = \frac{0,300m}{(0,08 * 0,0574 + 0,92 * 0,033) \frac{W}{mK}} = 8,58 \frac{m^2 K}{W}$$

**Total varmemotstand:** 
$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{(8,53 + 8,58) \frac{m^2 K}{W}}{2} = 8,56 \frac{m^2 K}{W}$$

**Legert varmkonduktivitet:** 
$$\lambda_{isolert\ bindingsverk} = \frac{0,300m}{8,56 \frac{m^2 K}{W}} = 0,035 \frac{W}{mK}$$

### C.3. ISOLERT BINDINGSVERK I PARAPET

Bindingsverket i parapeten består av heiltre med avstand c/c 0,6 m. Stenderne har tjukn 36 mm. Sidan topp- og botnsvill vil teiknast inn i THERM-modellen, er stenderandel 6 %:

Utrekning av varmemotstand, øvre grenseverdi:

$$R'_T = \frac{\Sigma A}{\Sigma \frac{A}{R_T}} = \frac{A_{stender} + A_{iso}}{\frac{A_{stender}}{d_{stender}/\lambda_{stender}} + \frac{A_{min.ull}}{d_{min.ull}/\lambda_{min.ull}}} = \frac{0,06 + 0,094}{\frac{0,06}{0,250/0,13 \frac{m^2K}{W}} + \frac{0,94}{0,250/0,033 \frac{m^2K}{W}}}$$
$$= 6,44 \frac{m^2K}{W}$$

Utrekning av varmemotstand, nedre grenseverdi:

$$R''_T = \frac{d}{\Sigma A_i * \lambda_i} = \frac{d}{A_{stender} * \lambda_{stender} + A_{min.ull} * \lambda_{min.ull}} = \frac{0,250 m}{(0,06 * 0,13 + 0,94 * 0,033) \frac{W}{mK}}$$
$$= 6,44 \frac{m^2K}{W}$$

**Total varmemotstand:**

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{(6,44 + 6,44) \frac{m^2K}{W}}{2} = 6,44 \frac{m^2K}{W}$$

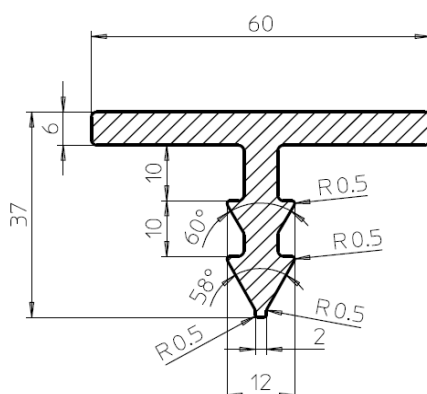
**Legert varmkonduktivitet for påføring:**

$$\lambda_{påføring} = \frac{0,250 m}{6,44 \frac{m^2K}{W}} = 0,039 \frac{W}{mK}$$

## VEDLEGG D – AREALANDEL AV ISOCON-BESLAG

For å kunne inkludere bidraget som IsoCon-beslaget gjev til kuldebruverdien i ringmuren må det reknast ut kor stor andel han utgjer av ringmuren i lengderetninga.

Etter å ha vore i samtale med produsentane av IsoCon-beslaga, Jackon, vart det motteken teikningar som viste dimensjonar til profilet, og plassering og lengder til beslag og blokker i ein eksempel ringmur. Sjå høvesvis Figur D-1 og Vedlegg E. Begge teikningane er motteke frå Jackon sin tekniske kundeservice.



Figur D-1. IsoCon-beslag med dimensjonar.

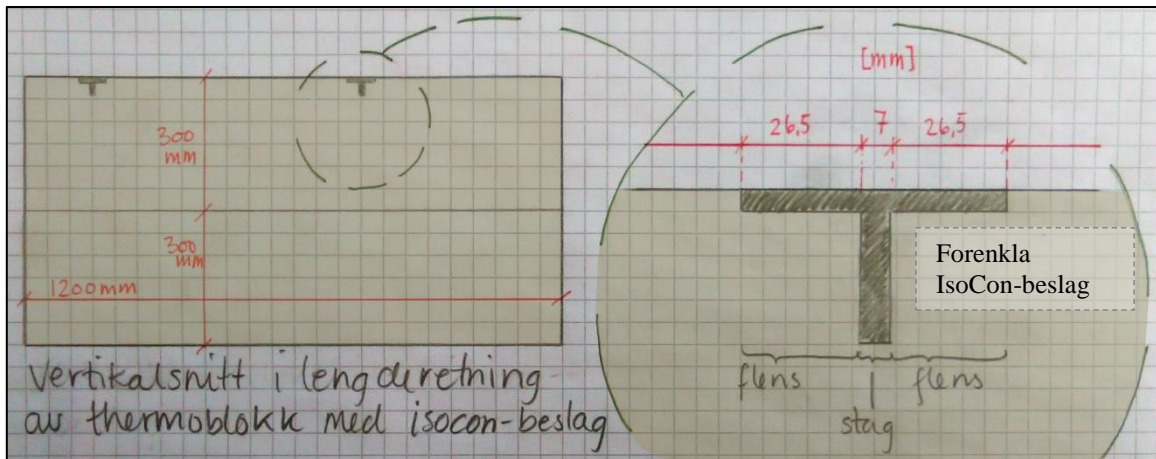
Fyrst må det sjåast på kor mange blokkar som trengs. Mengde hjørneblokker vil vere avhengig av mengde hjørne, og resterande omkrins må dermed vere dekkja av «vanlege» blokker. Det er teke utgangspunkt i eksempel bustaden Asplund, som har tre innovervendte og sju utovervendte hjørne. Det er rekna med total innvendig lengde, noko som gjer at det skrå beslaget i hjørna ikkje er inkludert.

Tabell D-1. Mengde blokker i ringmuren for Asplund.

	Per blokk	# blokker	Lengde
	[m/stk.]	[stk.]	[m]
Lengde av hjørneblokker for innovervendt hjørne	1,2	3	3,6
Lengde av hjørneblokker for utovervendt hjørne	0,5	7	3,5
Lengde av «vanlege» blokker	1,2	29	34,9
<b>Total for heile omkrins av ringmur</b>		<b>39</b>	<b>42</b>

Sidan beslag i hjørna ikkje er inkludert er det *to beslag per blokk*, når ein antek at dei plasserast ut med c/c 600. Dette gjev totalt 78 beslag. c/c 600 krev at stenderne plasserast oppå beslaga. Dersom ein vel å plassere ut beslaga med c/c 300 er ikkje dette nødvendig. For å avgrense varmetapet frå beslaga er c/c 600 nytta.

Arealandelen vert vidare rekna ut ved å dele opp beslaget for å gjere det mogleg å rekne 2-dimensjonalt i THERM, sjå Figur D-2. Geometrien til staget er forenkla for gjere THERM-delen enklare.



Figur D-2. Lengder av flens og stag for IsoCon-beslaget plassert i ei thermblokk.

Lengdene til stag og flens vert multiplisert med mengde beslag for å sjå kor mykje dei utgjør av den totale omkrinsen. Deretter vert mengde beslag trekt frå total omkrins for å finne lengda av ringmuren som ikkje er bestått av beslag i lengderetninga. Sjå Tabell D-2.

Tabell D-2. Andel flens, stag og ringmur i lengderetning for ringmuren i Asplund.

	Bredde	Mengde i lengderetning	Mengde i lengderetning
	[mm]	[m]	[%]
1. Flens	26,5+26,5	4,14	9,9
2. Stag	7 <sup>(x)</sup>	0,55	1,3
3. Utan beslag		37,31	88,8
Totalt		42	100

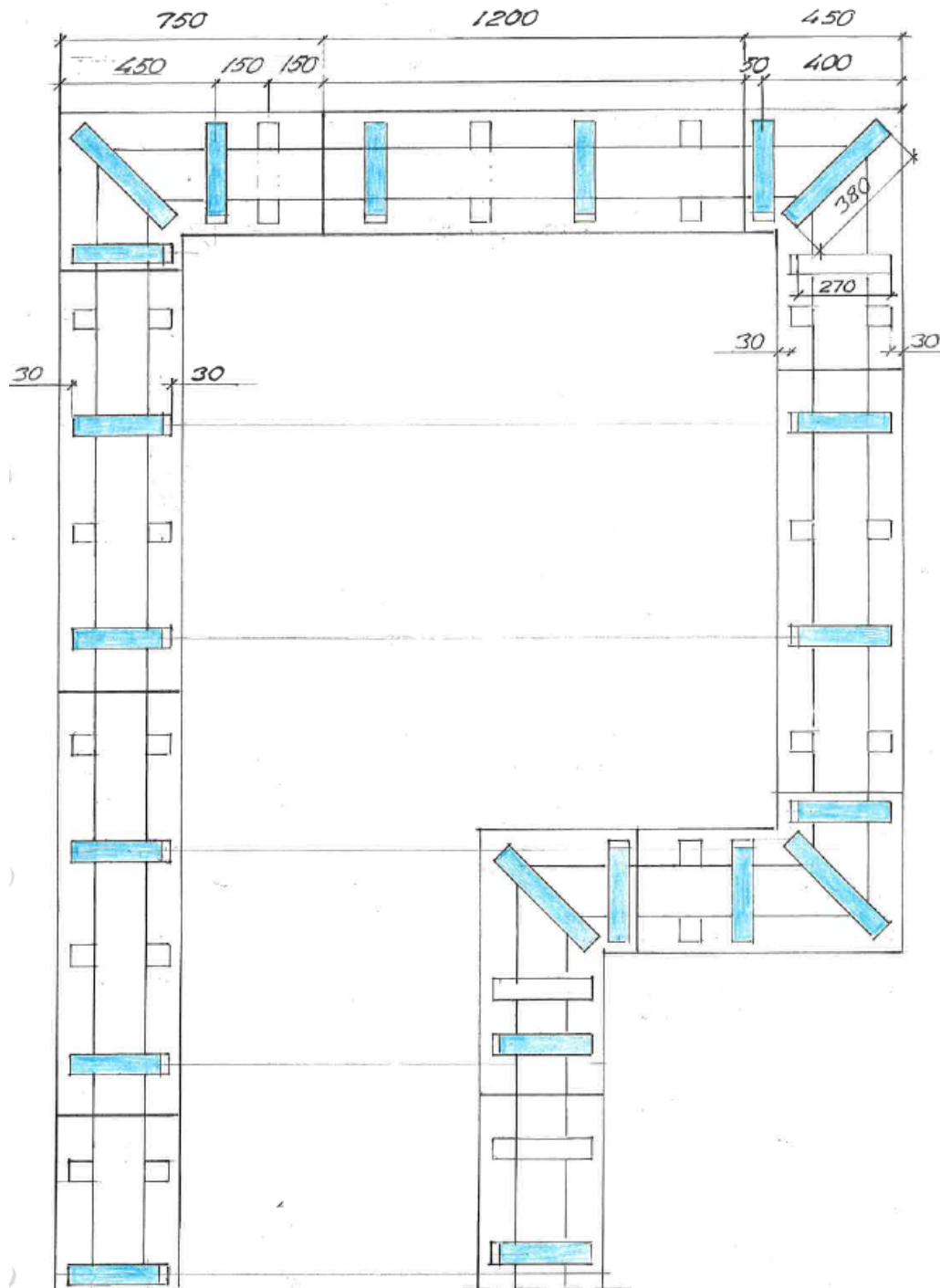
<sup>(x)</sup> Verdien er gjennomsnittet til staget si bredde. Ho er rekna ut ved å finne areal til stag ved hjelp av måleverkty i Adobe,  $A \approx 215 \text{ mm}^2$ , og deretter dele på høgda, 31 mm.

Tilsvarande vart òg gjort for dei andre eksempelbustadane. Trass i ulik omkrins og mengde ut- og innovervendte hjørne heldt prosentandelane seg stabile for mengde beslag i lengderetning, og dei endrar seg ikkje nok til at det gjev noko utfall for kuldebruverdien.



## VEDLEGG E – ISOCON-BESLAG PÅ THERMOMUR

Figur E-1 viser eit døme for utføring av thermomur med IsoCon-beslag. Figuren inkluderar lengder for rettvegg og hjørneblokk av thermomur, med dimensjonar for IsoCon-beslag. Thermomuren si breidde er 350 mm. Teikninga er motteke frå Jackon sin tekniske kundeservice.



*Jackon Thermomur med IsoCon*

*Møt 05.11.2013*

Figur E-1. Døme på utføring av thermomur med IsoCon-beslag.

## VEDLEGG F – UTREKNING AV KULDEBRUVERDIAR

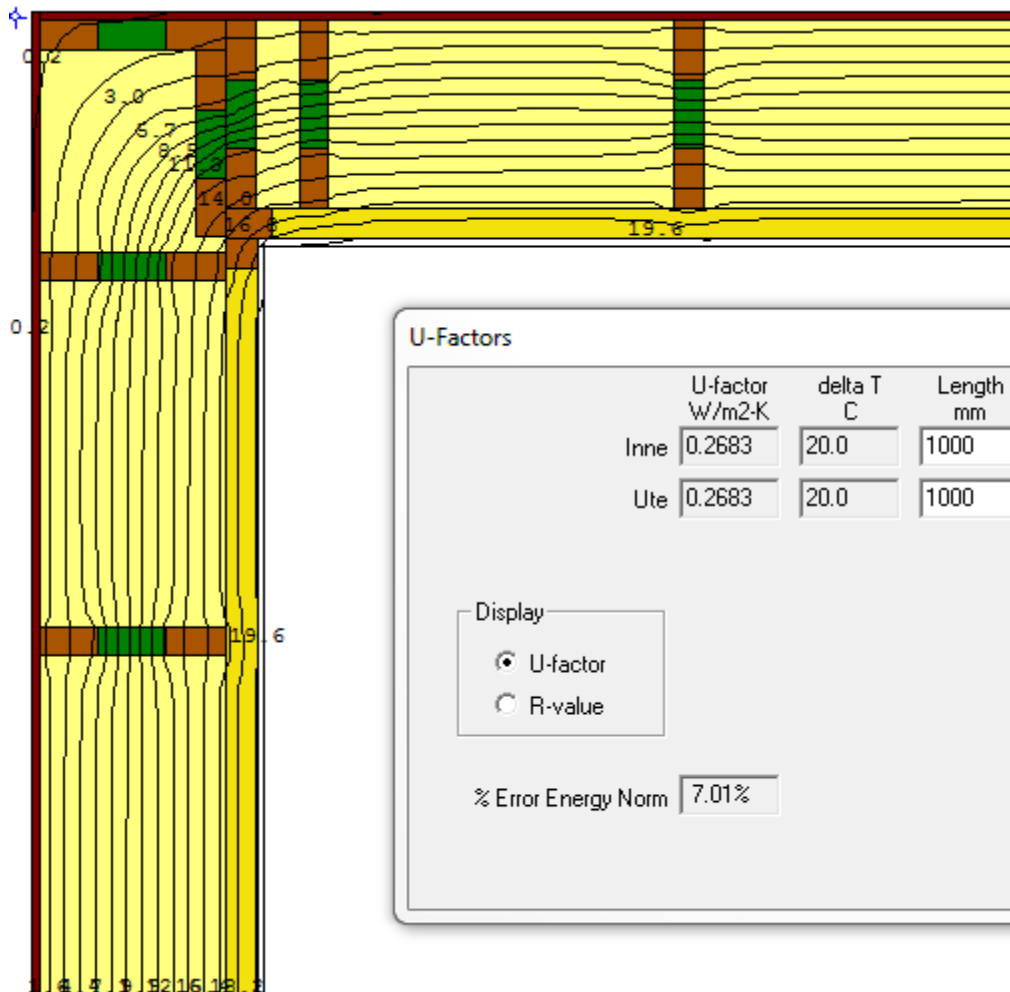
I dette vedlegget presenterast utrekning av kuldebruverdi for dei ulike bygningsdetaljane. Simuleringane er gjort i THERM 7.2, og det er teke skjermdump av bygningsdetaljane med temperaturfordeling.

### F.1. UTOVERVENDT HJØRNE

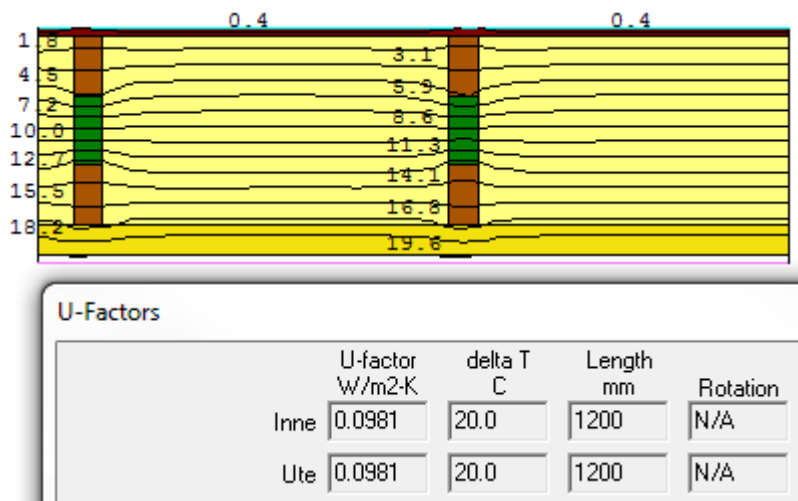
Formel: 
$$\Psi_{ut.hjørne} = L_{hjørne}^{2D} - (U_{vegg,1} * l_{vegg,1}) - (U_{vegg,2} * l_{vegg,2})$$

Tabell F-1. Utrekna kuldebruverdi for utovervendt hjørne.

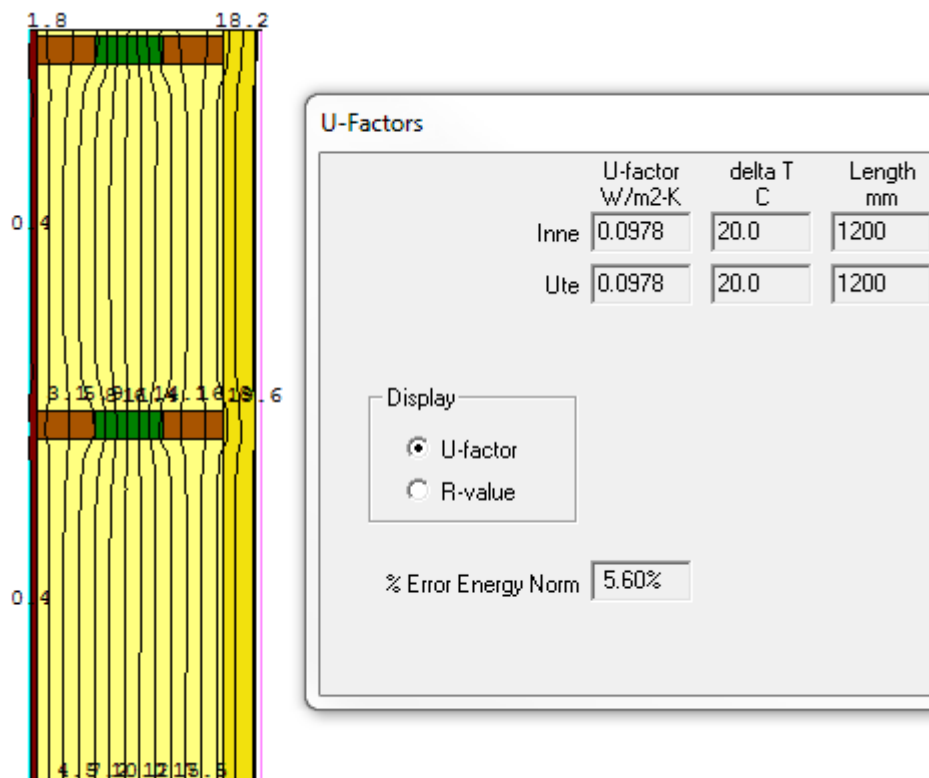
	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{hjørne}^{2D}$	W/mK	0,2683	Figur F-1
U-verdi for vegg	$U_{vegg,1}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0981	Figur F-2
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg,1}$	m	1,200	
U-verdi for vegg	$U_{vegg,2}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0978	Figur F-3
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg,2}$	m	1,200	
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{ut.hjørne}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>0,033</b>	



Figur F-1. Varmestraum gjennom utovervendt hjørne.



Figur F-2. Varmestraum gjennom vegg tilslutta utovervendt hjørne.



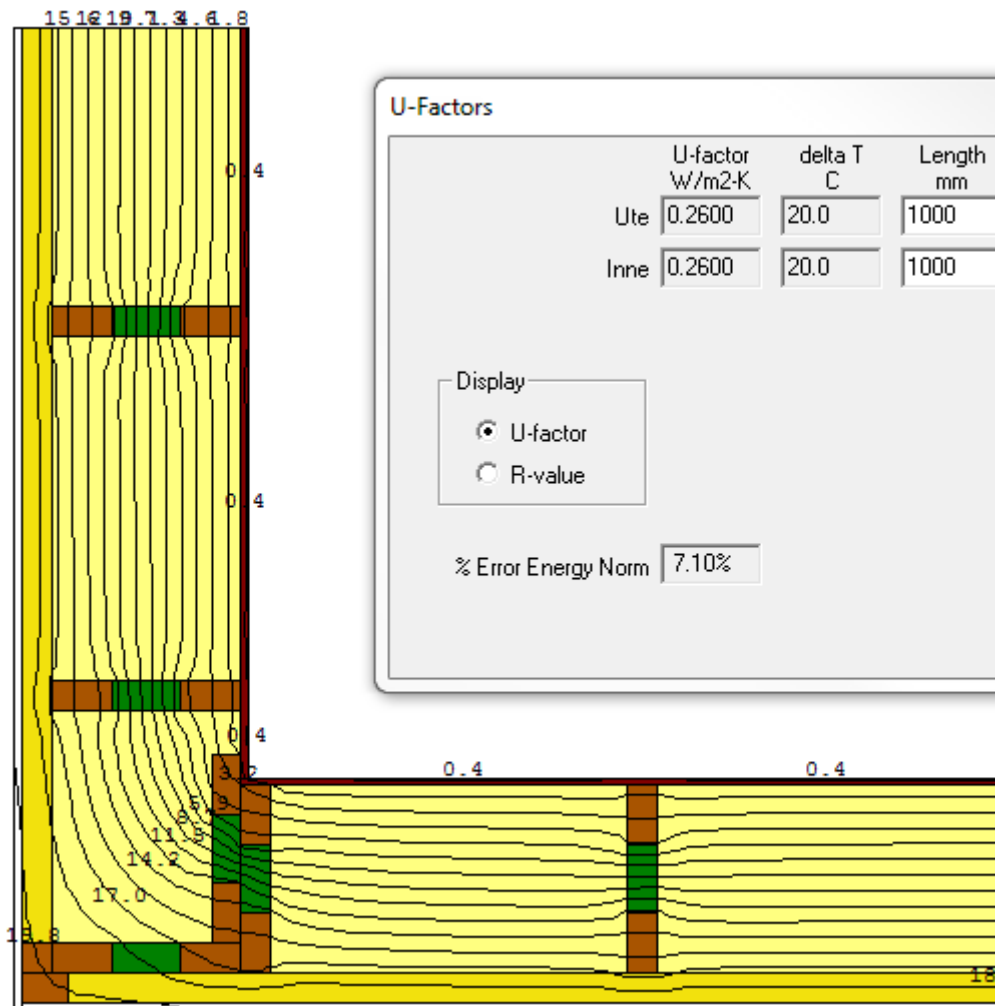
Figur F-3. Varmestraum gjennom vegg tilslutta utovervendt hjørne.

## F.2. INNOVERVENDT HJØRNE

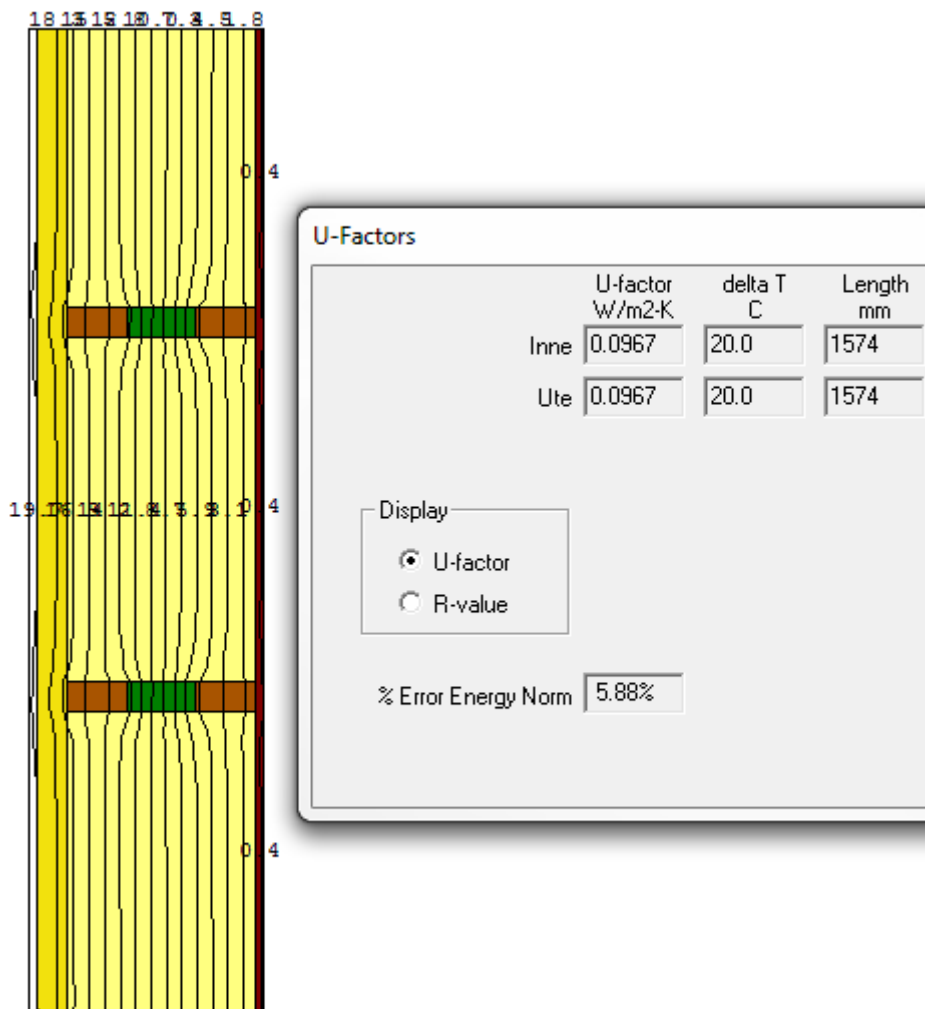
Formel:  $\Psi_{inn.hjørne} = L_{hjørne}^{2D} - (U_{vegg,1} * l_{vegg,1}) - (U_{vegg,2} * l_{vegg,2})$

Tabell F-2. Utrekna kuldebruverdi for innovervendt hjørne.

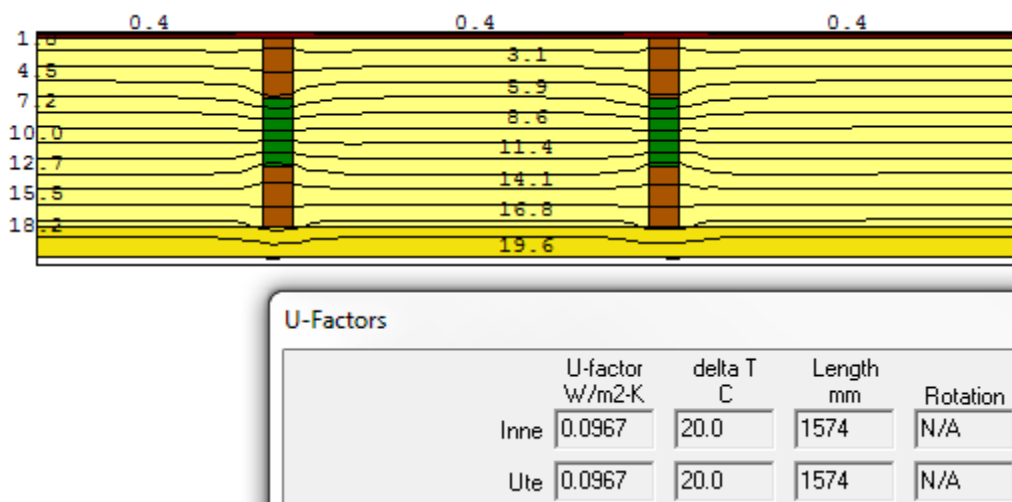
	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{hjørne}^{2D}$	W/mK	0,2600	Figur F-4
U-verdi for vegg	$U_{vegg,1}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0967	Figur F-5
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg,1}$	m	1,574	
U-verdi for vegg	$U_{vegg,2}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0967	Figur F-6
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg,2}$	m	1,574	
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{inn.hjørne}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>-0,044</b>	



Figur F-4. Varmestraum gjennom innovervendt hjørne.



Figur F-5 Varmestraum gjennom vegg tilslutta innovervendt hjørne.



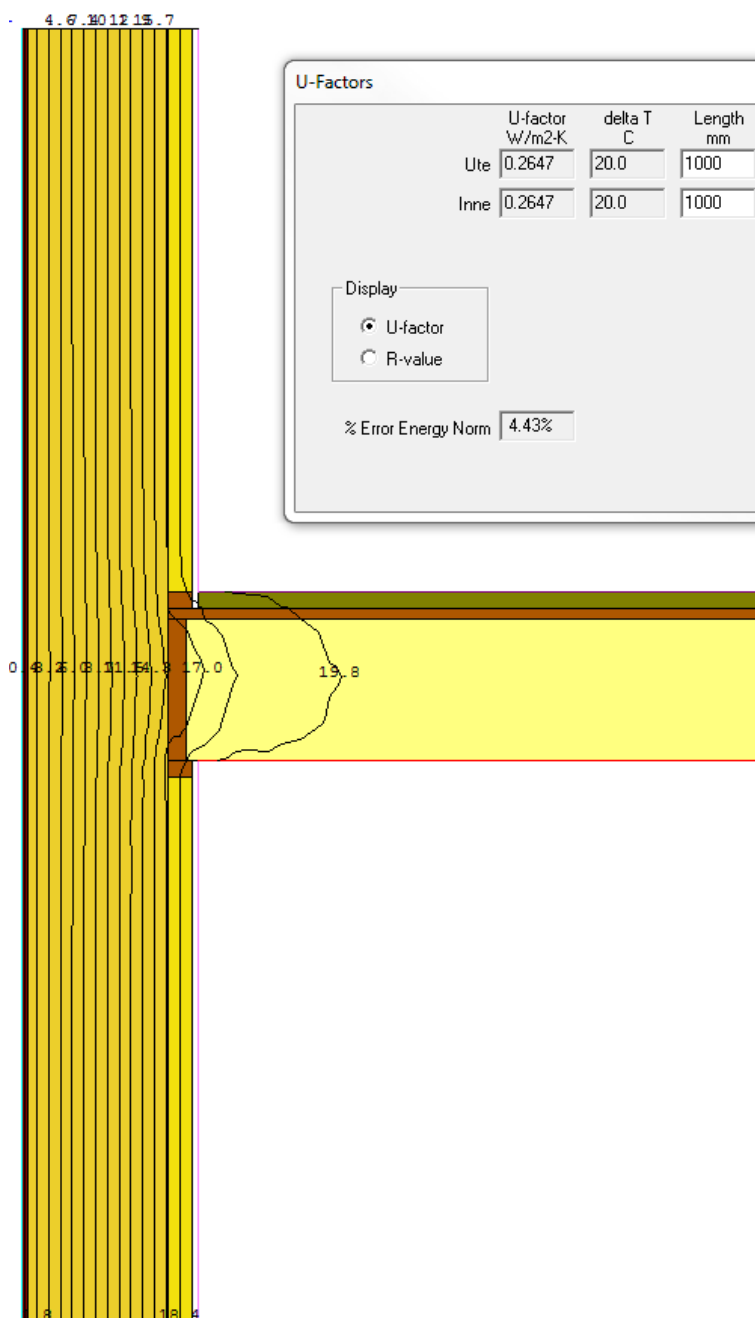
Figur F-6. Varmestraum gjennom vegg tilslutta innovervendt hjørne.

### F.3. ETASJESKILJAR

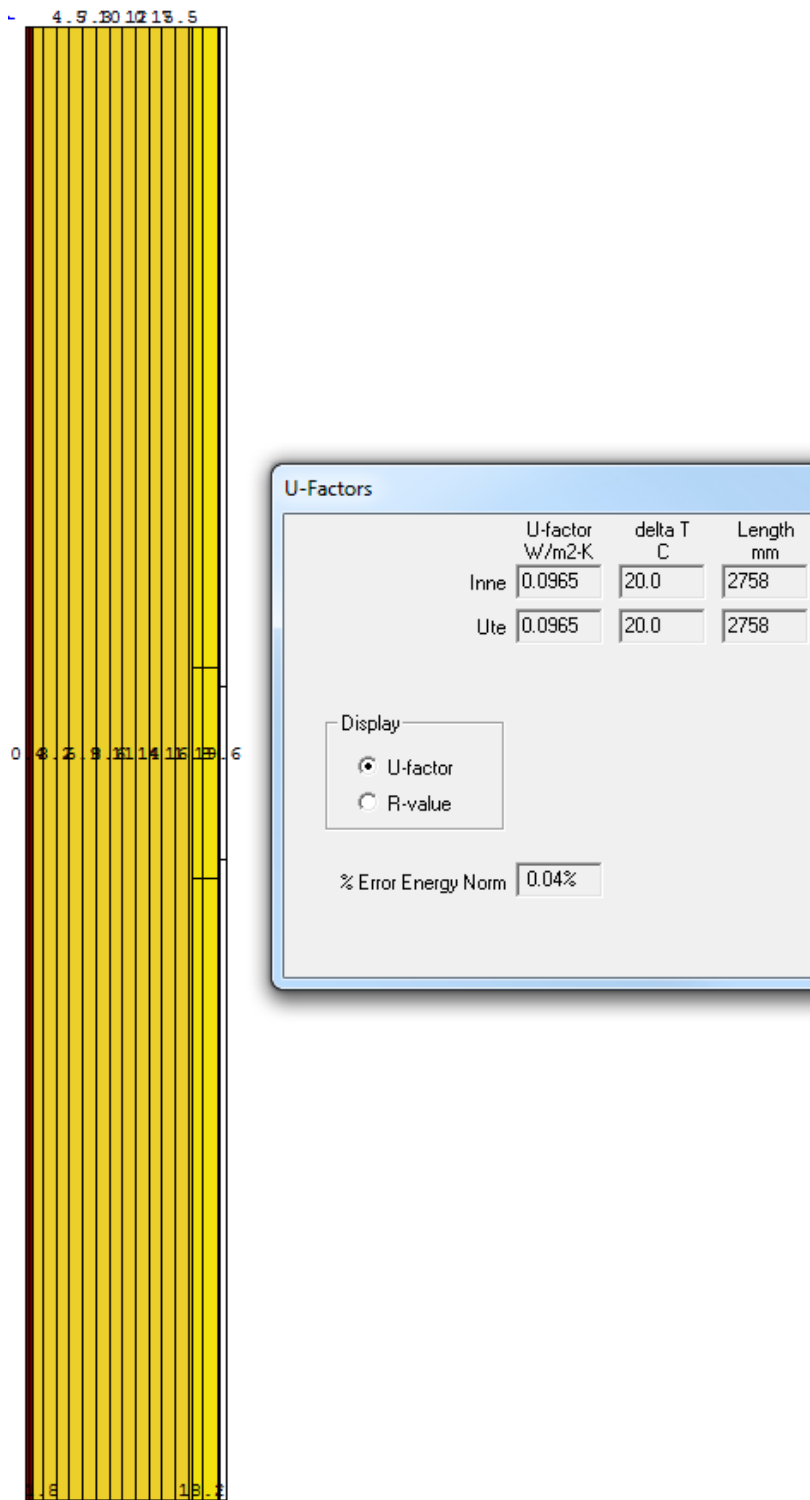
Formel:  $\Psi_{etasjeskiljar} = L_{etasjeskiljar}^{2D} - (U_{vegg} * l_{vegg})$

Tabell F-3. Utrekna kuldebruverdi for etasjeskiljar.

	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{etasjeskiljar}^{2D}$	W/mK	0,2647	Figur F-7
U-verdi for vegg	$U_{vegg}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0965	Figur F-8
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg}$	m	2,758	
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{etasjeskiljar}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>0,00</b>	



Figur F-7. Varmestraum gjennom etasjeskiljar.



Figur F-8. Varmestraum gjennom vegg tilslutta etasjeskiljar.

## F.4. GOLV PÅ GRUNN

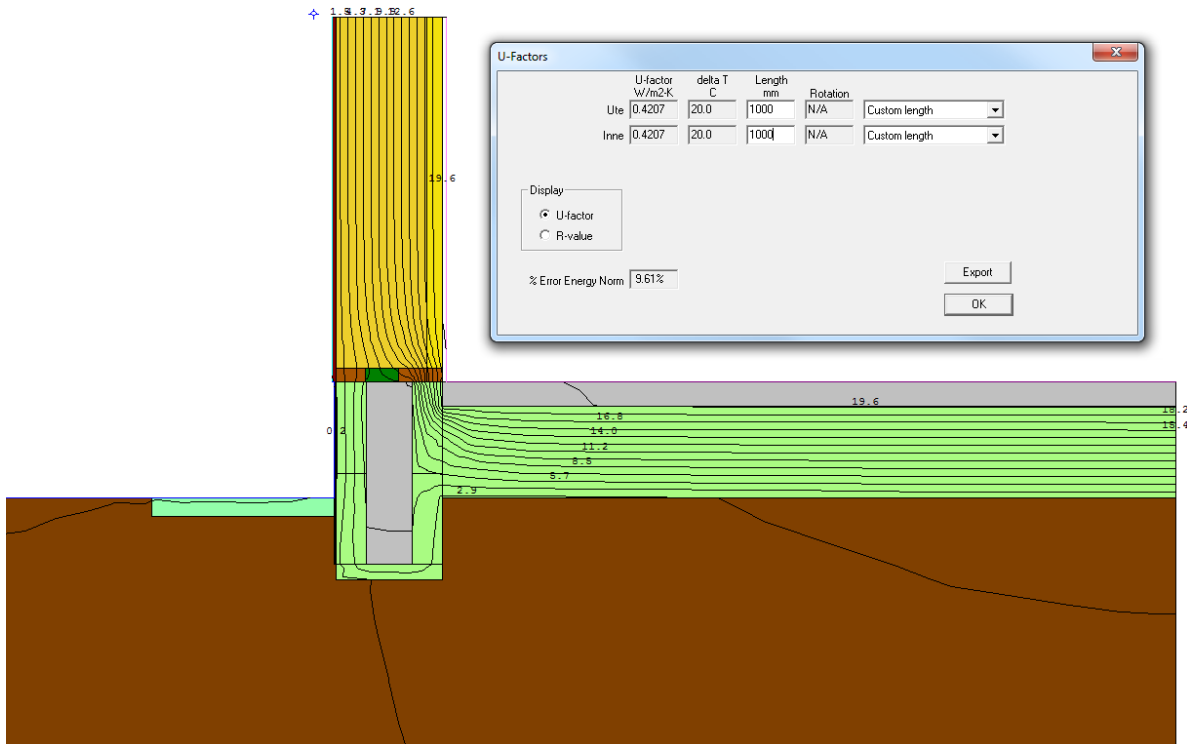
Ved utrekning av kuldebruverdi for ringmur med beslag, er det rekna ut tre kuldebruverdiar avhengig av deira utstrekking i lengderetninga. Den fyrste kuldebruverdien inneheld berre ringmur, utan beslag. For den andre kuldebruverdi er flensen til beslaget er inkludert og for den tredje staget i beslaget. Desse tre kuldebruverdiane vart vekta i samsvar med mengde i lengderetning. Sjå Vedlegg D for utrekning av dei ulike mengdeandelane i lengderetning og Vedlegg E for døme av plassering og utforming av thermoblokker med beslag.

Formel:

$$\Psi_{golv} = 0,888 * L_{2D, \frac{u}{beslag}} + 0,099 * L_{2D, \frac{m}{flens}} + 0,013 * L_{2D, \frac{m}{stag}} - (U_{vegg} * l_{vegg}) - L_{golv}^{2D}$$

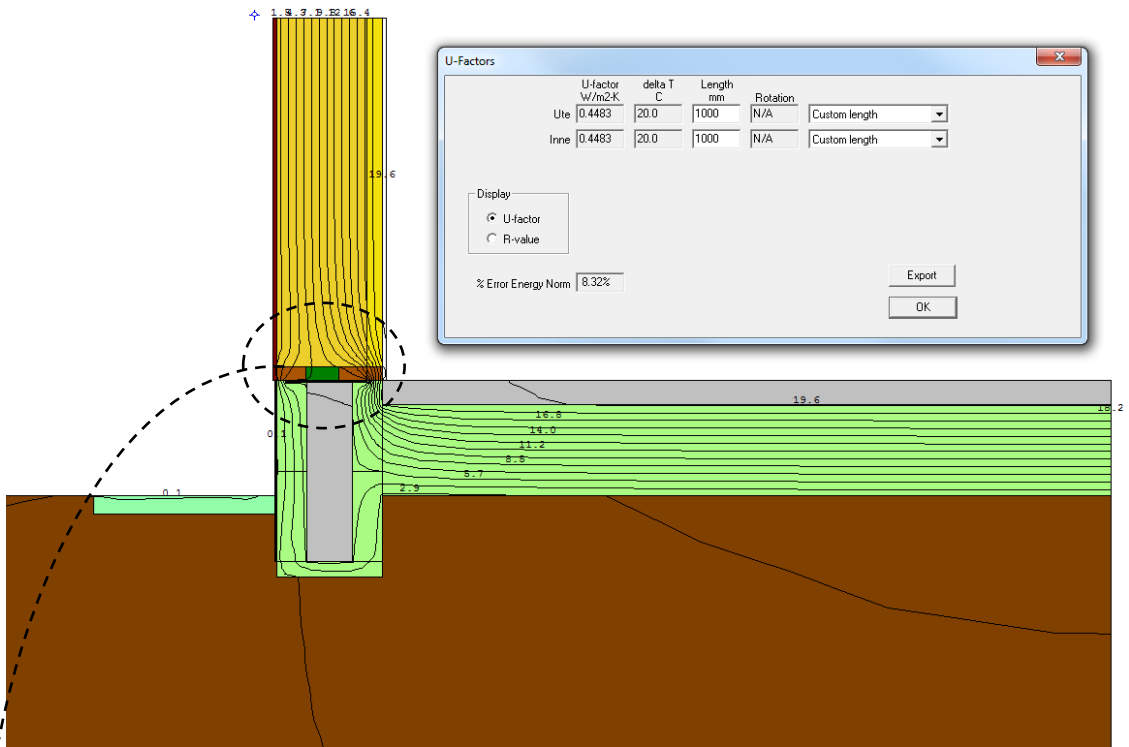
Tabell F-4. Utrekna kuldebruverdi for golv på grunn.

	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient, u/ beslag, utgjer 88,8 %	$L_{2D, u/ beslag}$	W/mK	0,4207	Figur F-9
Utrekna varmetapskoeffisient, m/ flens, utgjer 9,9 %	$L_{2D, flens}$	W/mK	0,4483	Figur F-10 og Figur F-11
Utrekna varmetapskoeffisient, m/ stag, utgjer 1,3 %	$L_{2D, stag}$	W/mK	0,4552	Figur F-12 og Figur F-13
U-verdi for vegg	$U_{vegg}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0999	Figur F-14
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg}$	m	1,2	
Varmestraum gjennom golv	$L_{golv}^{2D}$	W/mK	0,2417	Figur F-15
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{golv}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>0,062</b>	

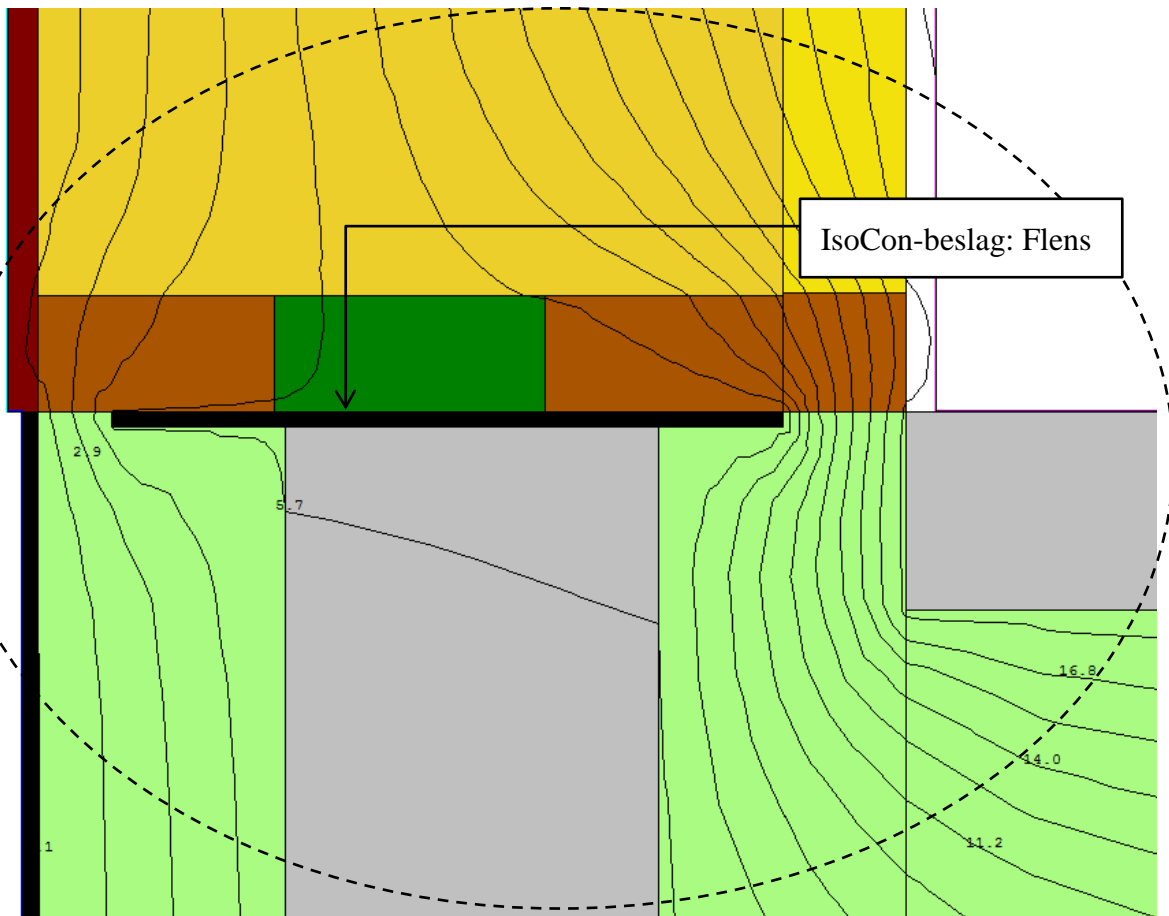


Figur F-9. Varmestraum gjennom tilslutninga vegg – golv, utan beslag i ringmuren.

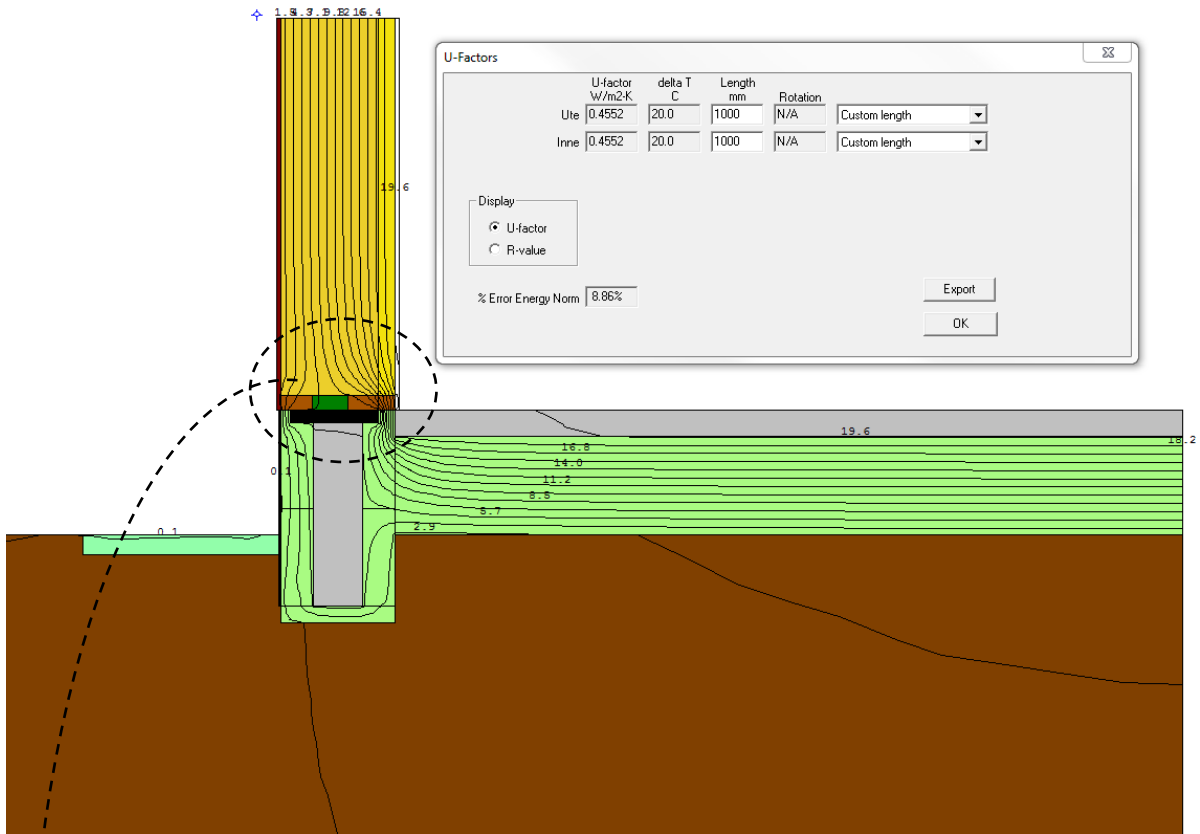




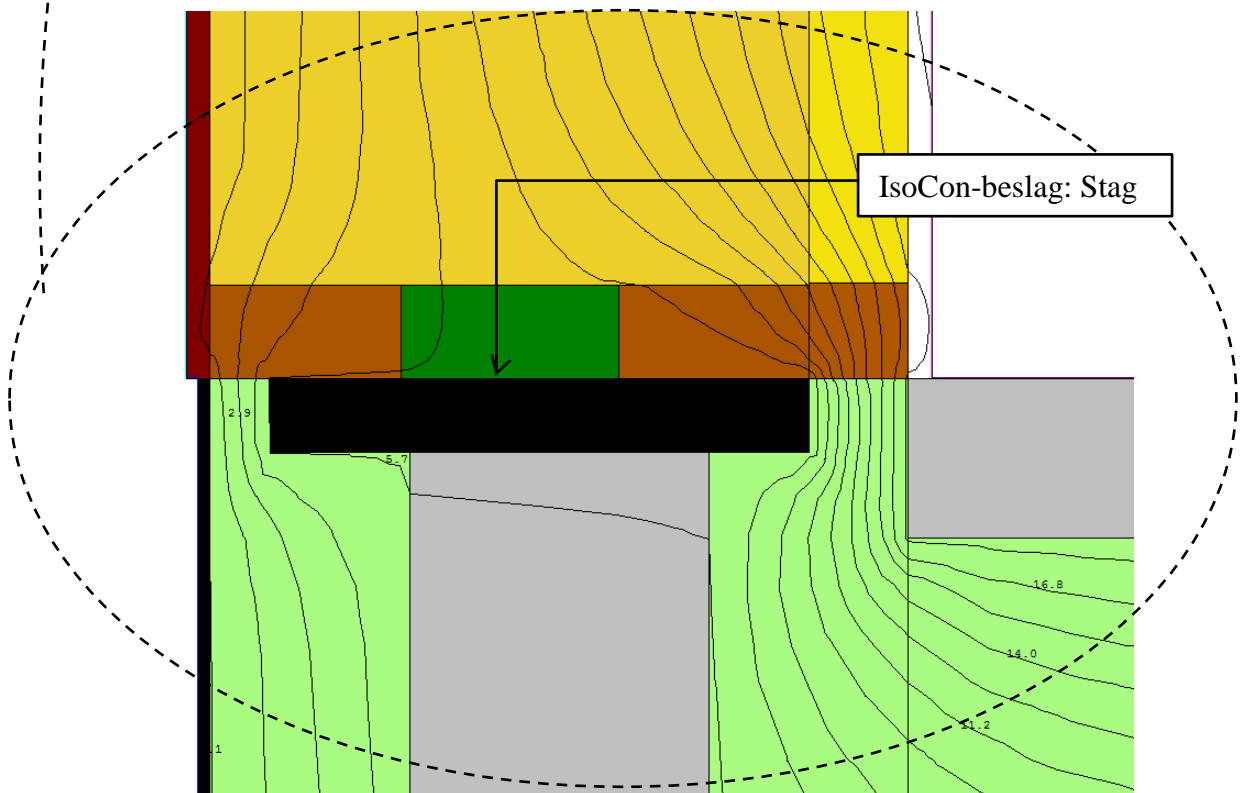
Figur F-10. Varmestraum gjennom vegg – golv med flens til IsoCon-beslag.



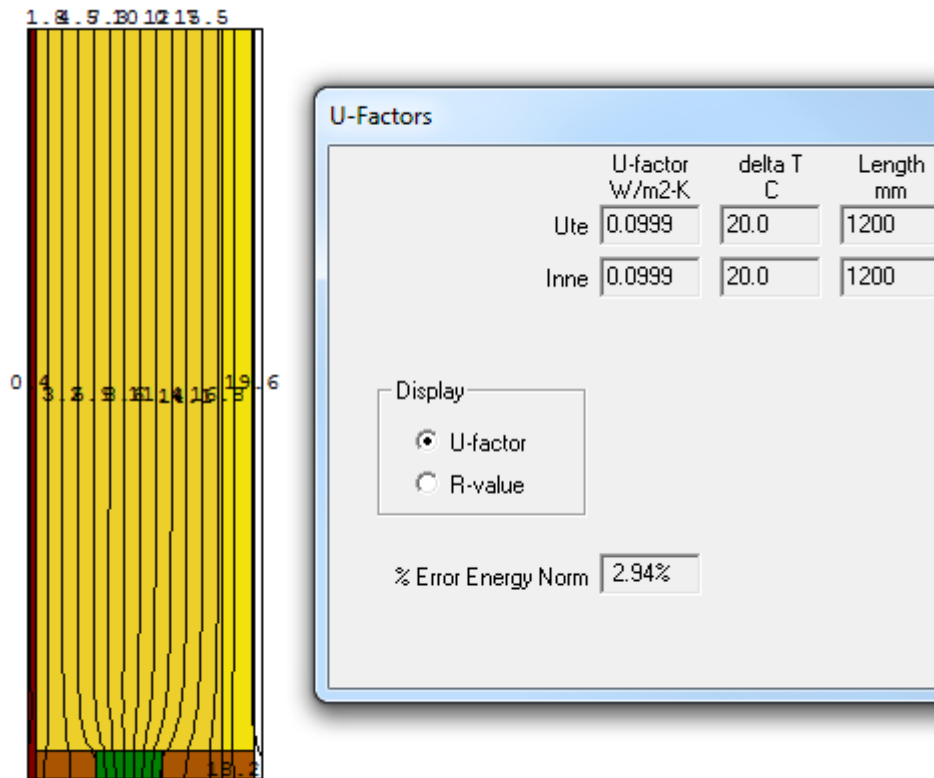
Figur F-11. Forstørring av varmestraum gjennom ringmur med flens til IsoCon-beslag.



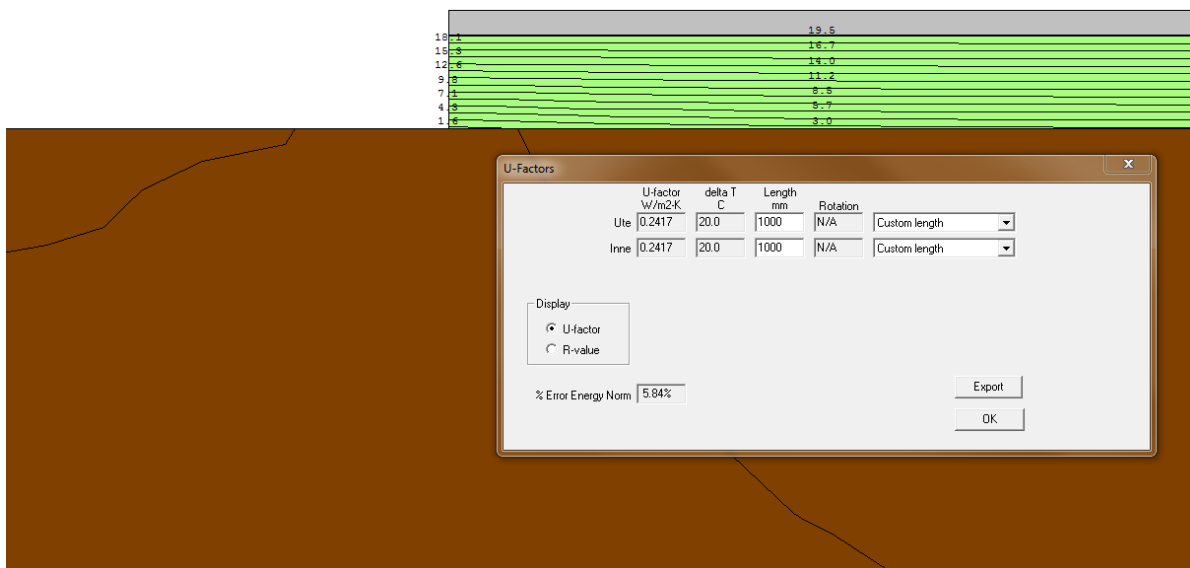
Figur F-12. Varmestraum gjennom vegg - golv med stag til IsoCon-beslag.



Figur F-13. Forstørring av varmestraum gjennom ringmur med stag til IsoCon-beslag.



Figur F-14. Varmestraum gjennom vegg med botnsvill.



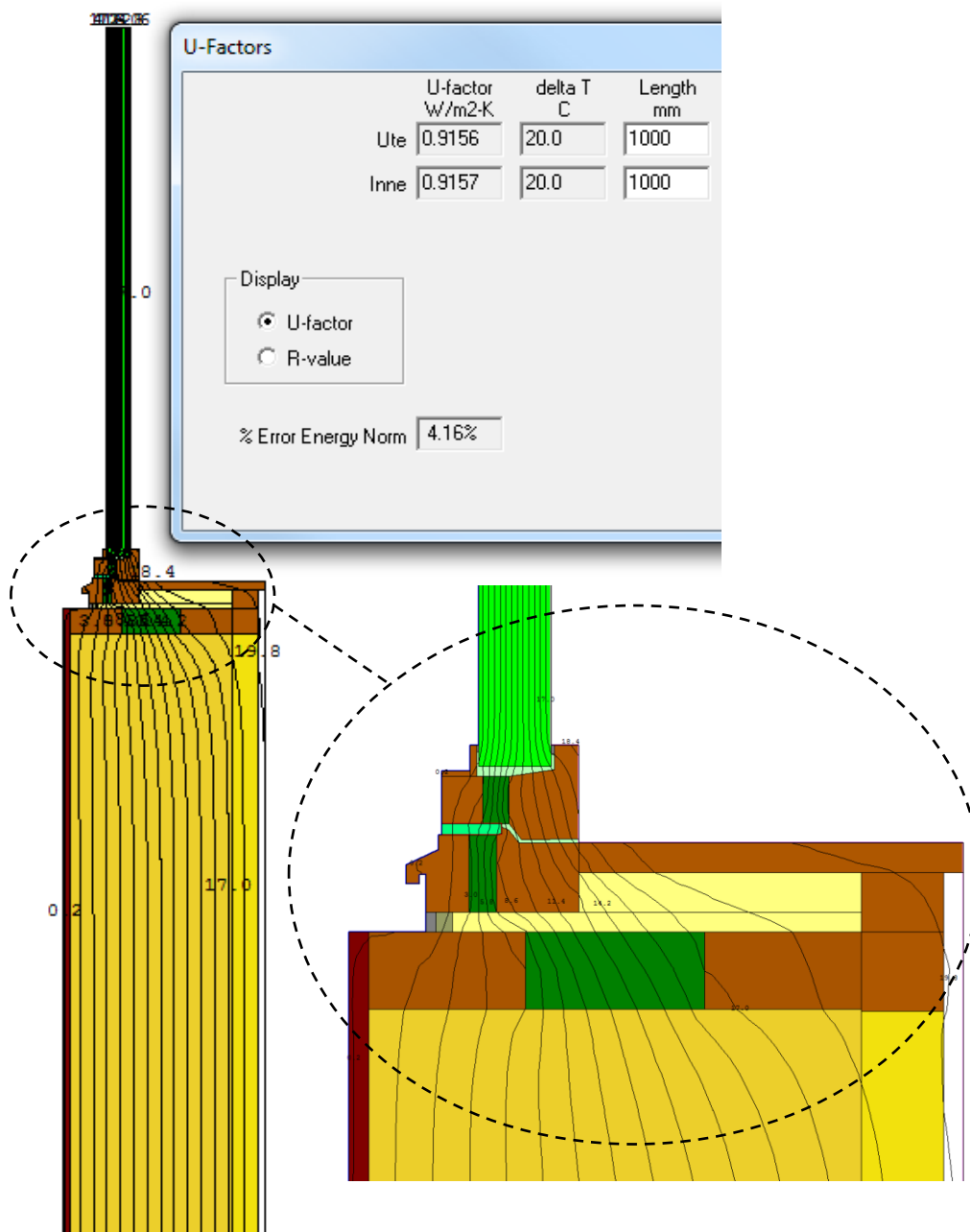
Figur F-15. Varmestraum gjennom golv på grunn.

## F.5. VINDAUGE

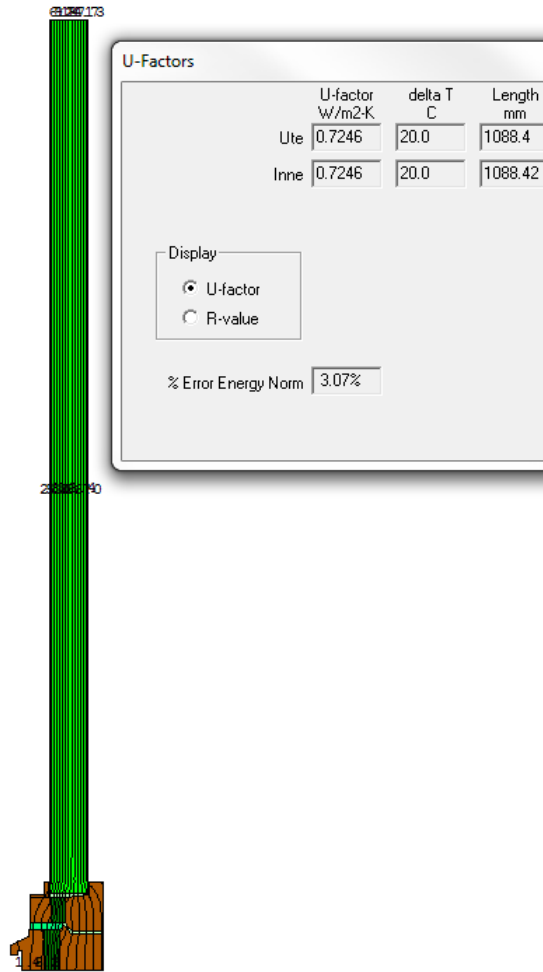
Formel:  $\Psi_{vindaug} = L_{vindaug}^{2D} - (U_{vindaug} * l_{vindaug}) - (U_{vegg} * l_{vegg})$

Tabell F-5. Utrekna kuldebruverdi for vindaug.

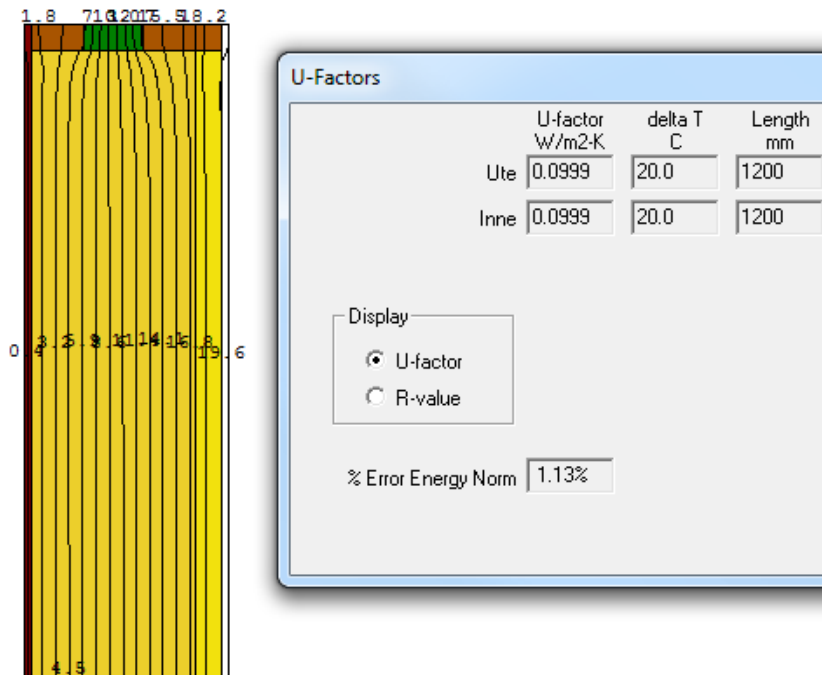
	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{vindaug}^{2D}$	W/mK	0,9157	Figur F-16
U-verdi for vindaug	$U_{vindaug}$	W/m <sup>2</sup> K	0,7246	Figur F-17
Lengde vindaugsutsnitt	$l_{vindaug}$	m	1,0884	
U-verdi for vegg	$U_{vegg}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0999	Figur F-18
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg}$	m	1,2	
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{vindaug}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>0,007</b>	



Figur F-16. Varmestraum gjennom tilslutning mellom vindaug og vegg.



Figur F-17. Varmestraum gjennom vindauge.



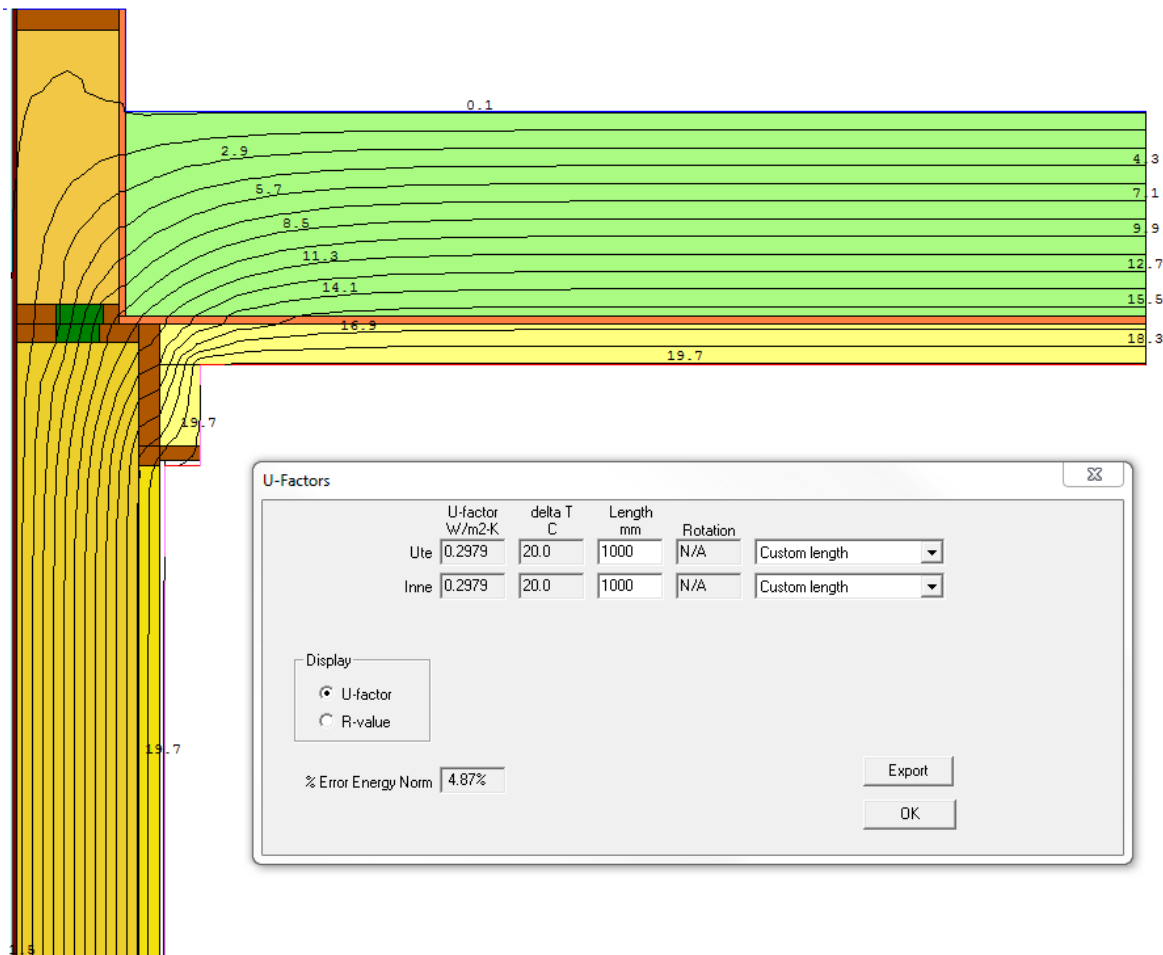
Figur F-18. Varmestraum gjennom vegg med toppsvill.

## F.6. TAK

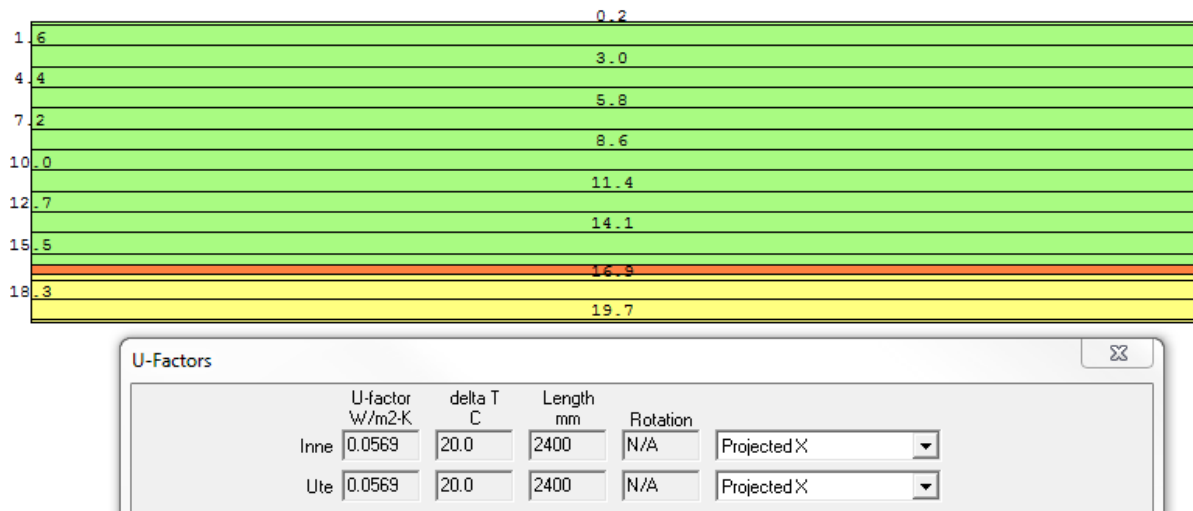
Formel:  $\Psi_{tak} = L_{tak}^{2D} - (U_{tak} * l_{tak}) - (U_{vegg} * l_{vegg})$

Tabell F-6. Utrekna kuldebruverdi for takkonstruksjon

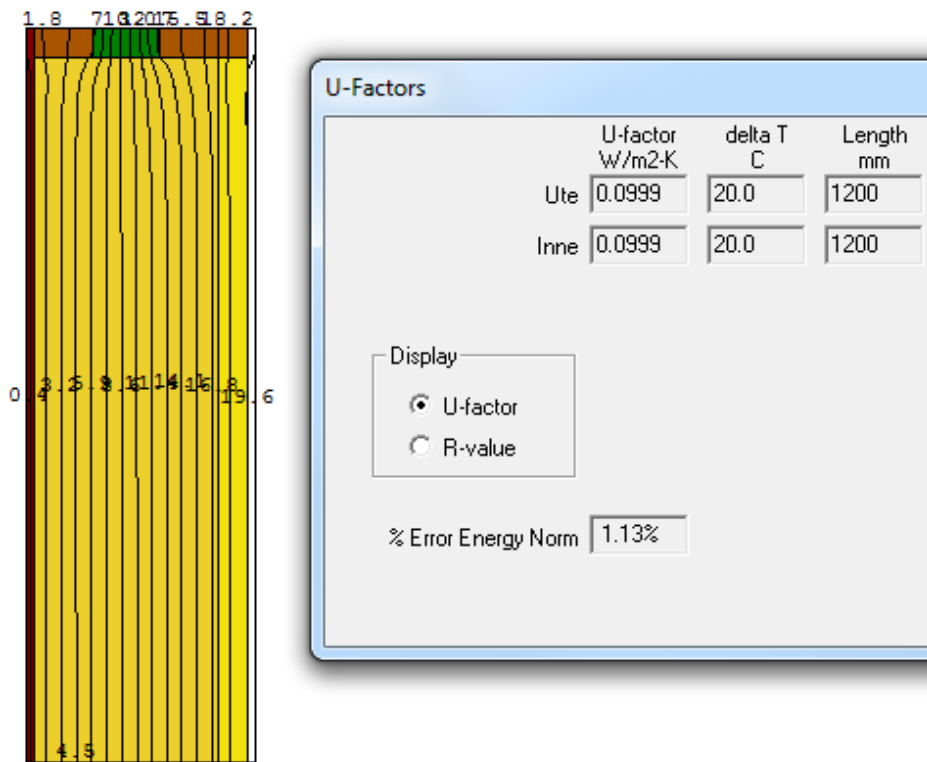
	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{hjørne}^{2D}$	W/mK	0,2979	Figur F-19
U-verdi for tak	$U_{tak}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0569	Figur F-20
Lengde takutsnitt	$l_{tak}$	m	2,4	
U-verdi for vegg	$U_{vegg}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0999	Figur F-21
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg}$	m	1,2	
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{tak}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>0,041</b>	



Figur F-19. Varmestraum gjennom kompakt tak tilslutta vegg med parapet.



Figur F-20. Varmestraum gjennom tak.



Figur F-21. Varmestraum gjennom vegg med toppsvill.

## VEDLEGG G – EKVIVALENT VARMEKONDUKTIVITET

For å finne dei ekvivalente varmekonduktivitetane er total varmemotstand fyrst rekna ut. Motstanden er eksklusiv utvendig og innvendig varmemotstand, fordi desse er inkludert i grensetilstandane i THERM. Deretter reknast U-verdi ved å ta den inverse av varmemotstanden. U-verdien nyttast til slutt for å finne den ekvivalente varmekonduktiviteten for bygningsdelen ved å multiplisere med den totale tjukna for konstruksjonsdelen.

Forenklingar er gjort ved oppbyggingar av detaljane, dette er greia ut om i metodekapittelet. Kort skildra så inneber dette at material som bidreg lite eller ingenting til den totale varmemotstanden er ekskludert.

### G.1. VEGG

Tabell G-1. Varmemotstand for veggkonstruksjon

Materiale	$\lambda$ [W/mK]	d [m]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Vindsperre	0,048	0,012	0,25
Legert sjikt; bindingsverk og isolasjon	0,035	0,300	8,57
Påføring, mineralull	0,041	0,050	1,22
Gips	0,2	0,012	0,06
<b>Totalt</b>		<b>0,374</b>	<b>10,10</b>

$$U_{vegg} = \frac{1}{R_{tot}} = 0,099 \frac{W}{m^2K}$$

$$\lambda_{vegg} = U \cdot d_{tot} = 0,037 \frac{W}{mK}$$

### G.2. TAK

Tabell G-2. Varmemotstand for tak

Materiale	$\lambda$ [W/mK]	d [m]	R [m <sup>2</sup> K/W]
EPS	0,035	0,500	14,29
OSB-plate	0,14	0,018	0,13
Mineralull	0,033	0,100	3,03
<b>Totalt</b>		<b>0,618</b>	<b>17,44</b>

$$U_{tak} = \frac{1}{R_{tot}} = 0,057 \frac{W}{m^2K}$$

$$\lambda_{tak} = U \cdot d_{tot} = 0,035 \frac{W}{mK}$$

I samsvar med avgjersle skildra i metodekapittelet er ikkje luftsjikt og nedføra himling inkludert ved modellering av taket. Det er derfor heller ikkje inkludert i den ekvivalente varmekonduktiviteten for taket.



### G.3. PARAPET

Tabell G-3. Varmemotstand for parapet

Materiale	$\lambda$ [W/mK]	d [m]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Vindsperre	0,048	0,012	0,25
Legert sjikt; bindingsverk og isolasjon	0,039	0,250	6,41
OSB-plate	0,14	0,018	0,13
<b>Totalt</b>		<b>0,270</b>	<b>6,79</b>

$$U_{parapet} = \frac{1}{R_{tot}} = 0,147 \frac{W}{m^2K}$$

$$\lambda_{parapet} = U \cdot d_{tot} = 0,041 \frac{W}{mK}$$

### G.4. GOLV

Tabell G-4. Varmemotstand for golvkonstruksjon

Materiale	$\lambda$ [W/mK]	d [m]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Betong	2,5	0,08	0,03
EPS	0,035	0,300	8,57
<b>Totalt</b>		<b>0,380</b>	<b>8,60</b>

$$U_{golv} = \frac{1}{R_{tot}} = 0,116 \frac{W}{m^2K}$$

$$\lambda_{golv} = U \cdot d_{tot} = 0,044 \frac{W}{mK}$$

# VEDLEGG H – UTREKNING AV GEOMETRISKE KULDEBRUVERDIAR

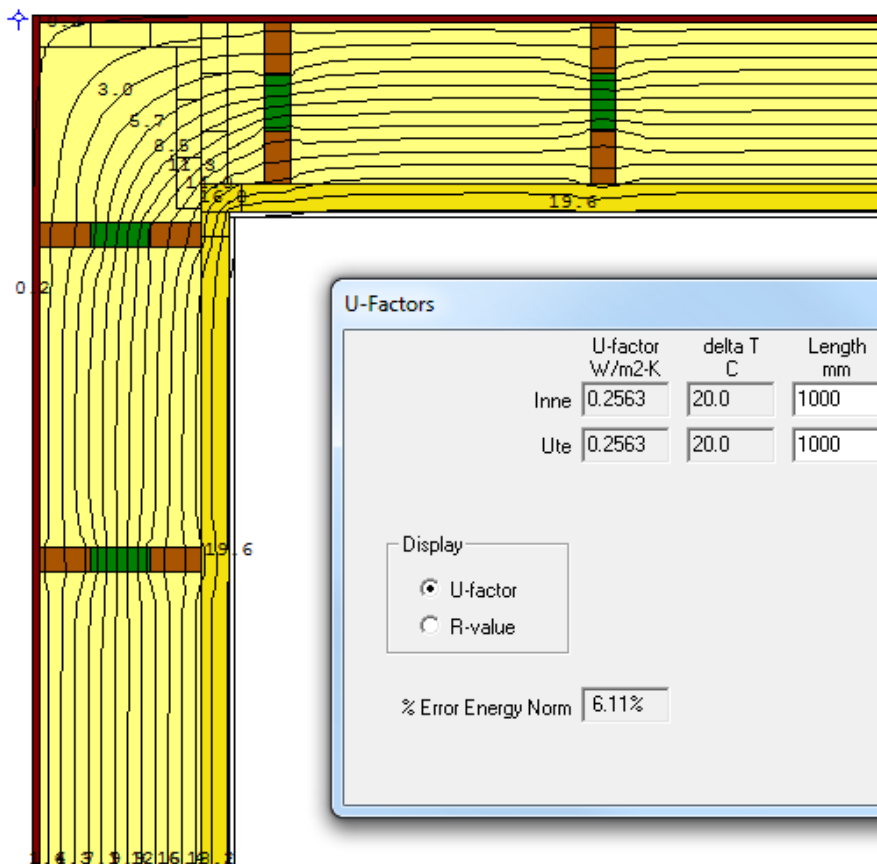
I dette vedlegget er utrekning av dei geometriske kuldebruverdiane presentert. Simuleringane er gjort i THERM 7.2, og det er teke skjermdump av bygningsdetaljane med temperaturfordeling.

## H.1. UTOVERVENDT HJØRNE

Formel: 
$$\Psi_{geo,ut.hjørne} = L_{hjørne}^{2D} - (U_{vegg,1} * l_{vegg,1}) - (U_{vegg,2} * l_{vegg,2})$$

Tabell H-1. Utrekna geometrisk kuldebruverdi for utovervendt hjørne.

	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{hjørne}^{2D}$	W/mK	0,2563	Figur H-1
U-verdi for vegg	$U_{vegg,1}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0981	Figur F-2
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg,1}$	m	1,2	
U-verdi for vegg	$U_{vegg,2}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0978	Figur F-3
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg,2}$	m	1,2	
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{geo,ut.hjørne}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>0,021</b>	



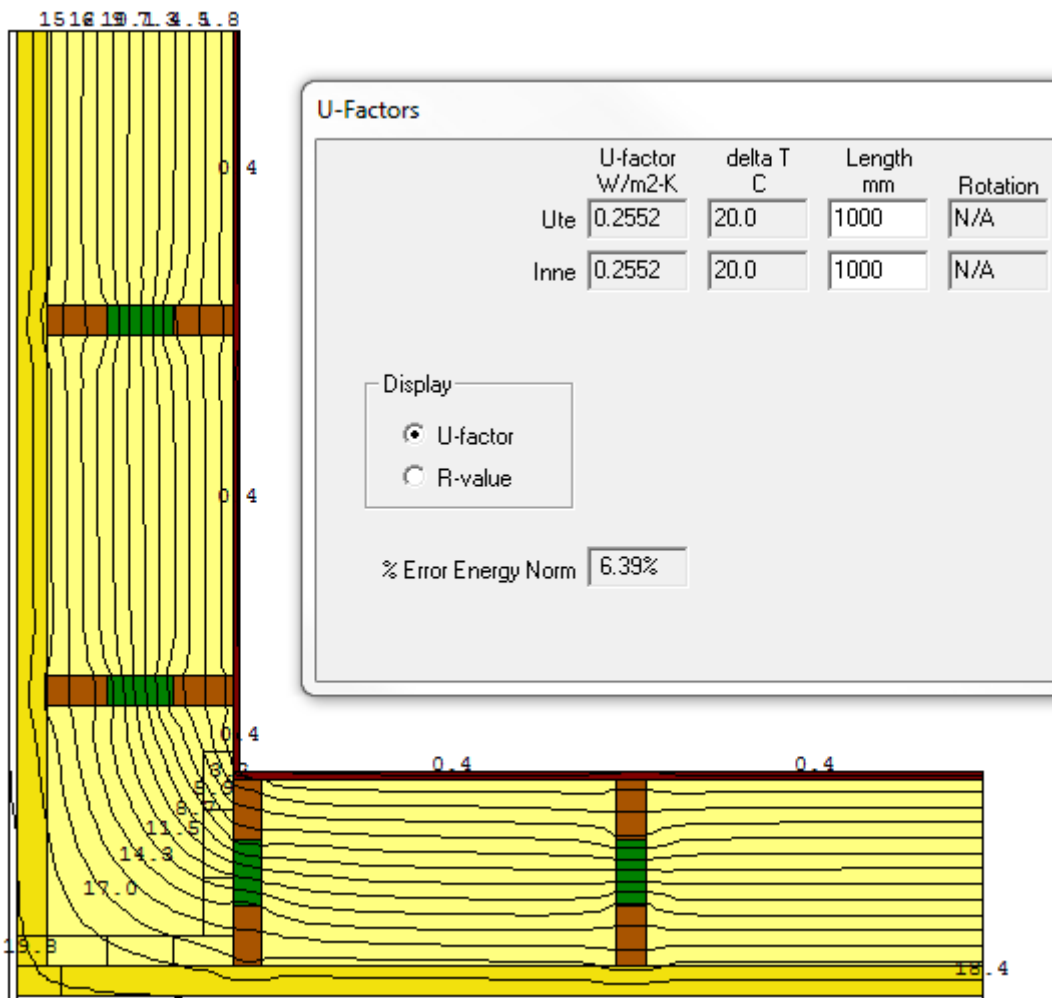
Figur H-1. Varmestraum gjennom utovervendt hjørne utan stender i hjørnet..

## H.2. INNOVERVENDT HJØRNE

Formel: 
$$\Psi_{geo,inn.hjørne} = L_{hjørne}^{2D} - (U_{vegg,1} * l_{vegg,1}) - (U_{vegg,2} * l_{vegg,2})$$

Tabell H-2. Utrekna geometrisk kuldebruverdi for innovervendt hjørne.

	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{hjørne}^{2D}$	W/mK	0,2552	Figur H-2
U-verdi for vegg	$U_{vegg,1}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0967	Figur F-5
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg,1}$	m	1,574	
U-verdi for vegg	$U_{vegg,2}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0967	Figur F-6
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg,2}$	m	1,574	
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	$\Psi_{geo,inn.hjørne}$	<b>W/mK</b>	<b>-0,049</b>	



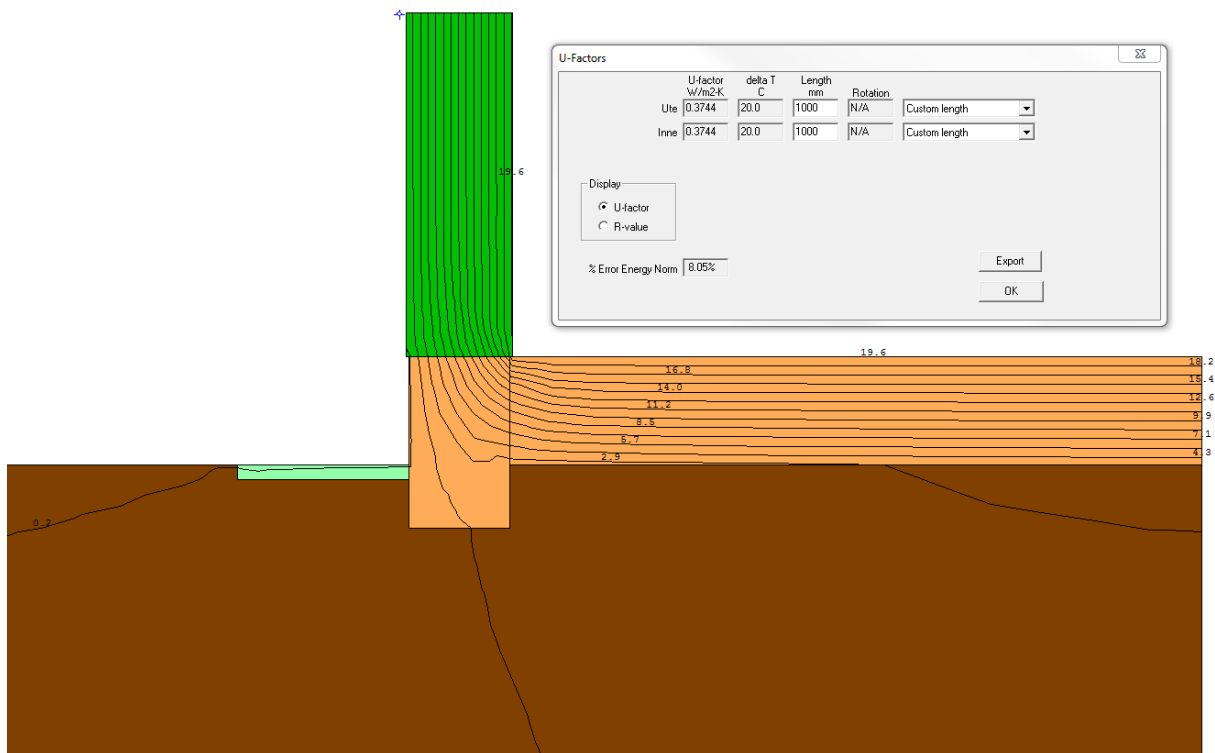
Figur H-2. Varmestraum gjennom innovervendt hjørne utan stender i hjørnet.

### H.3. GOLV PÅ GRUNN

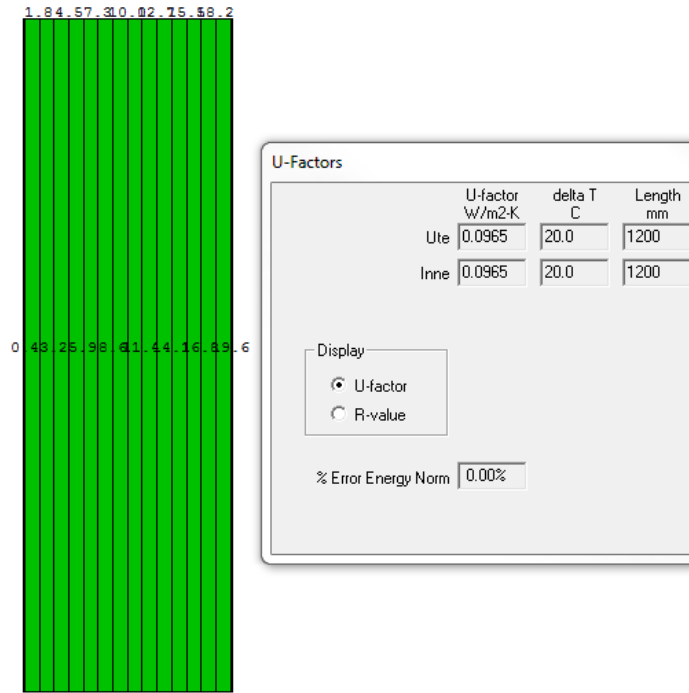
Formel:  $\Psi_{geo,golv} = L_{heile}^{2D} - (U_{vegg} * l_{vegg}) - L_{golv}^{2D}$

Tabell H-3. Utrekna geometrisk kuldebruverdi for golv på grunn.

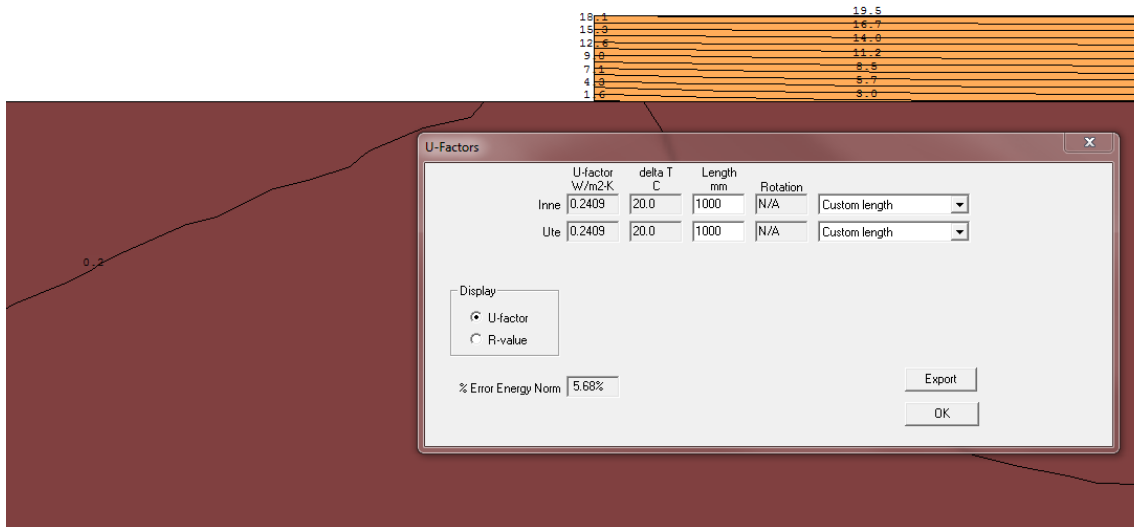
	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{heile}^{2D}$	W/mK	0,3744	Figur H-3
U-verdi for vegg	$U_{vegg}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0965	Figur H-4
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg}$	m	1,2	
Varmestraum gjennom golv	$L_{golv}^{2D}$	W/mK	0,2409	Figur H-5
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{geo,golv}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>0,018</b>	



Figur H-3. Varmestraum gjennom golv tilslutta vegg, med legerte bygningsdelar.



Figur H-4. Varmestraum gjennom legert vegg.



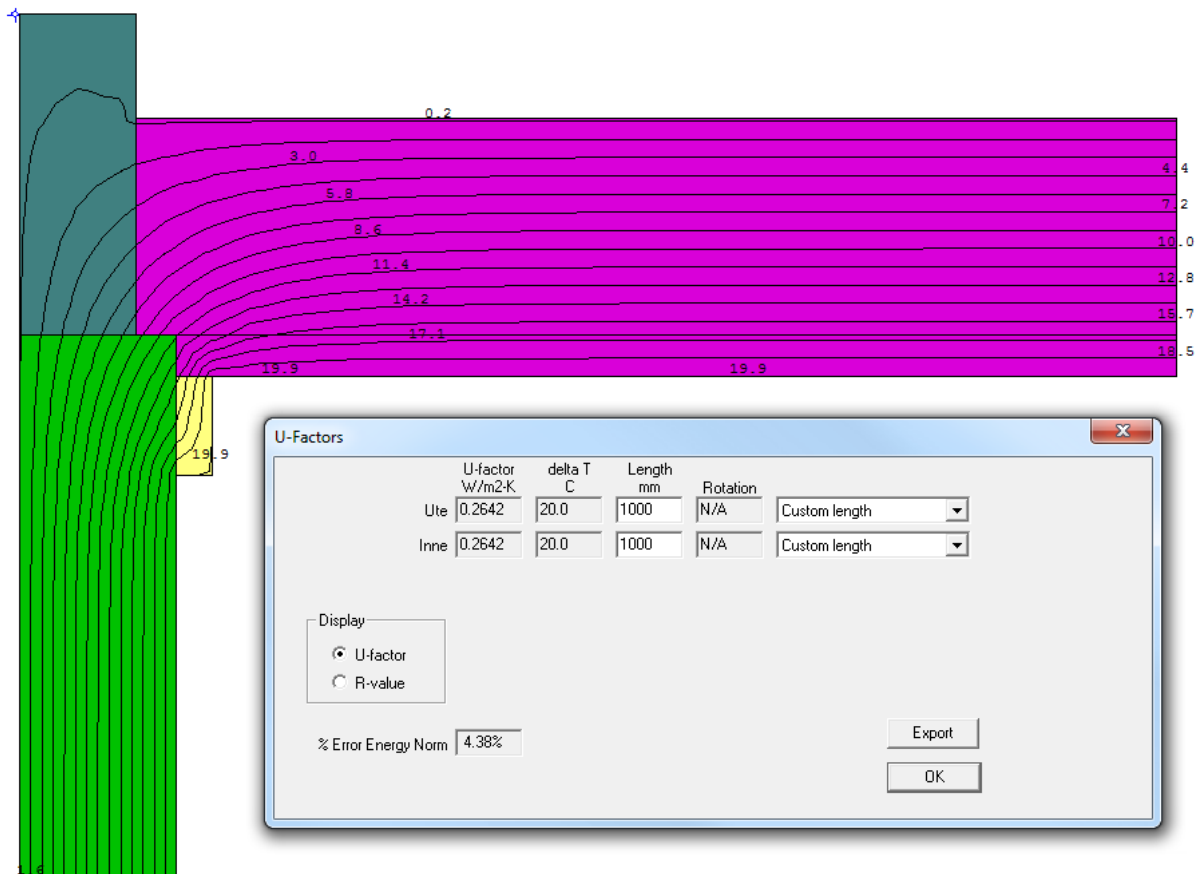
Figur H-5. Varmestraum gjennom golv på grunn, med legert sjikt for golvet.

## H.4. TAK

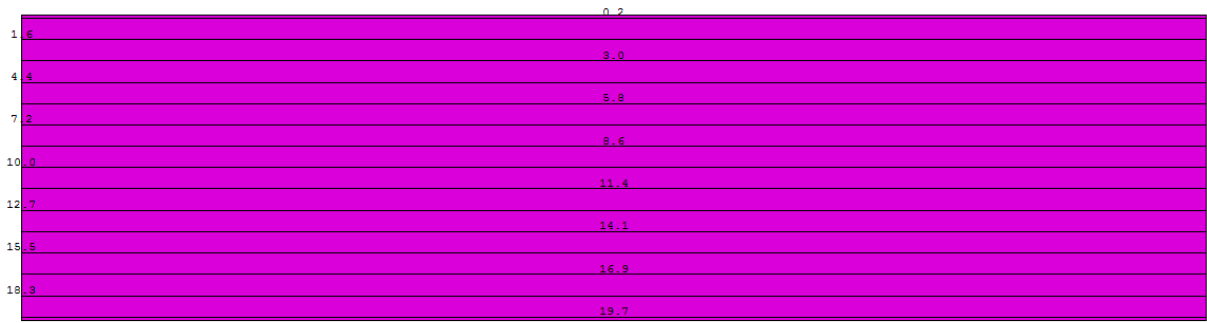
Formel:  $\Psi_{geo,tak} = L_{Tak}^{2D} - (U_{tak} * l_{tak}) - (U_{vegg} * l_{vegg})$

Tabell H-4. Utrekna geometrisk kuldebruverdi for takkonstruksjon.

	Symbol	Eining	Verdi	Referanse
Utrekna varmetapskoeffisient	$L_{Tak}^{2D}$	W/mK	0,2642	Figur H-6
U-verdi for tak	$U_{tak}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0562	Figur H-7
Lengde takutsnitt	$l_{tak}$	m	2,4	
U-verdi for vegg	$U_{vegg}$	W/m <sup>2</sup> K	0,0965	Figur H-8
Lengde veggutsnitt	$l_{vegg}$	m	1,2	
<b>Utrekna kuldebruverdi</b>	<b><math>\Psi_{tak}</math></b>	<b>W/mK</b>	<b>0,014</b>	



Figur H-6. Varmestraum gjennom tilslutning tak og vegg.



U-Factors

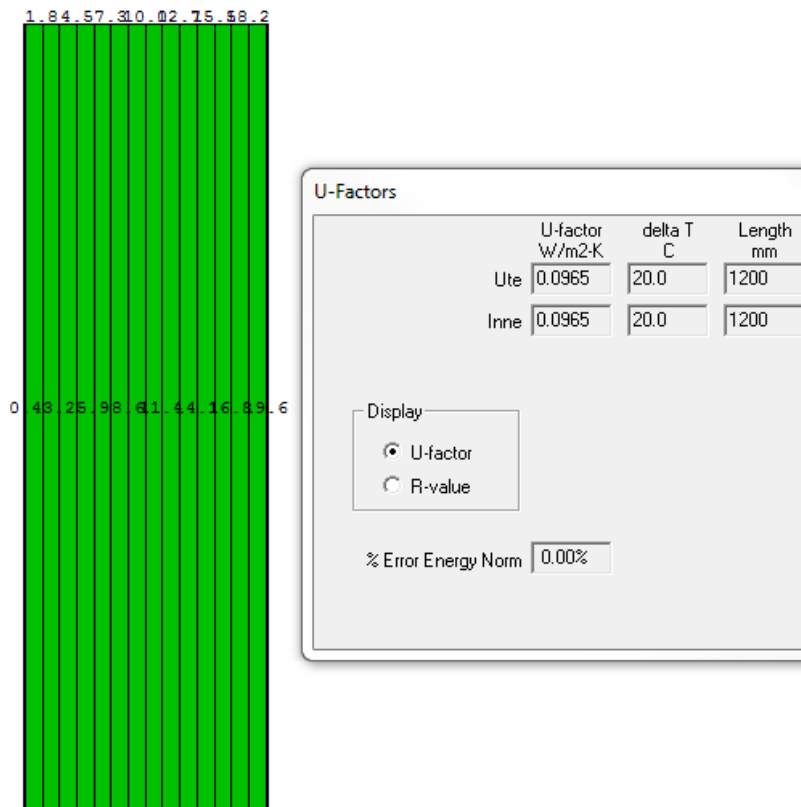
	U-factor W/m <sup>2</sup> ·K	delta T C	Length mm	Rotation
Inne	0.0562	20.0	2400	N/A
Ute	0.0562	20.0	2400	N/A

U-factor  
 R-value

% Error Energy Norm: 0.00%

Export OK

Figur H-7. Varmestraum gjennom legert tak.



Figur H-8. Varmestraum gjennom legert vegg.

## Dokumentasjon av kontrollberegning i henhold til NS 3031:2007+A1:2011

Byggningsbeskrivelse, adresse: Demohuset, Passivhus	Byggear 2015, Kunde/ref: Boligproduzentenes Forening (Landlig   Lave treer / boligstrøk / jordbruk)
Lokalt klima: Oslo	Hels bygningsen er beregnet
Type kontrollberegning: NS 3700: Passivhuskriterier, bolig	Liv Heljord Svare
Beregning utført av: -	

### SENTRALE INNDATA FOR ENERGIBEREGNINGEN, dokumentert iht. NS 3031:2007 Tillegg J:

Størrelser	Inndata	Dokumentasjon	
Bygningsskategorier	Småhus	Enebolig (1 boenhet)	
Arealer [m <sup>2</sup> ]	Yttervegger	186 m <sup>2</sup>	Yttervegg av bindingsverk og isolasjon
	Tak	83 m <sup>2</sup>	Isolert kompakt tak
	Gulv	83 m <sup>2</sup>	Støpt betong over EPS
	Vinduer, dører, og glassfelt	34 m <sup>2</sup>	bl.a. 14 vindauge 23 x 20 F (man)
Oppvarmet del av BRA (A <sub>op</sub> ) [m <sup>2</sup> ]	167 m <sup>2</sup>		
Oppvarmet luftvolum (V <sub>op</sub> ) [m <sup>3</sup> ]	400 m <sup>3</sup>	Volum = 166,6*2,4	
U-verdi for bygningsdeler [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Yttervegger	0,1 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
	Tak	0,06 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
	Gulv	0,1 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Vinduer, dører, og glassfelt	0,76 W/(m <sup>2</sup> ·K)		
Arealandel for vinduer, dører og glassfelt (y <sub>gl</sub> )	20 %		
Normalisert varmeledningsevne (λ <sub>n</sub> ) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0,034	Kapittel 7.	
Normalisert varmeledningsevne (λ <sub>n</sub> ) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	30		
Lekkasjetal (n <sub>50</sub> ) [1/h]	0,6		
Temperaturvirkningsgrad (g <sub>T</sub> ) for varmeveksler	87,0 %	Antas med grunnlag i passivhus	
Arsmiddel temperaturvirkningsgrad for varmejervinner pga. frostsikring (men ikke tillufttemperatur)	86,8 %	Avkast>-10°C, Tilluft=-V·19°C, S·17°C.	
Spesifikk vteeffekt (SEF) relatert til luftmengder, i driftstiden [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	1,3	Mek. balansert ventilasjon. Vanleg for passivhus   Minstekraf for NS 3700:2013 (PR 105 nyttar 1.3)	
Spesifikk vteeffekt (SEF) relatert til luftmengder, utenfor driftstiden [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	-		
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde i driftstiden (V <sub>me,drift</sub> ) [(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> ]	1,5	Infiltrasjon (dvs. luftlekkasjer) utgjør ca. 0,1 (m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> i tillegg	
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde utenfor driftstiden (V <sub>me,drift</sub> ) [(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> ]	-		
Arsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingssternet	145 %		
Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatter) [W/m <sup>2</sup> ]	32,3	med nattsinking	
Settpunkt-temperaturer for oppvarming [°C]	21 (19 om natten)	Ventilasjonsluft settpunkt: 17/19°C sommer/vinter	
Arsgjennomsnittlig effektfaktor for kjølesystemet	-		
Settpunkt-temperaturer for kjøling [°C]	-		
Spesifikk pumpeeffekt (SPP) [kW/(ts)]	-	ingen pumper	
Driftstid for oppvarming, kjøling, lys, utstyr, varmtvann / ventilasjon / personer	167 / 24 / 24 timer/døgn	Hhv. 7 døgnuke og 52 uker/år, jfr. NS 3031	
Spesifikk effektbehov for belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,95	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk varmetilskudd fra belysning i driftstiden (g <sub>lys</sub> ) [W/m <sup>2</sup> ]	1,95	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk effektbehov for utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	3,00	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk varmetilskudd fra utstyr i driftstiden (g <sub>utstyr</sub> ) [W/m <sup>2</sup> ]	1,80	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk effektbehov for varmtvann i driftstiden (g <sub>varmv</sub> ) [W/m <sup>2</sup> ]	5,10	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk varmetilskudd fra varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk varmetilskudd fra personer i driftstiden (g <sub>pers</sub> ) [W/m <sup>2</sup> ]	1,50	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Total soifaktor (g <sub>T</sub> ) for vindu og solavskjerming (N10/S/V/T ak)	0,510,2610,3330,261-	Beregnet iht. EN 13363-1 Manuell (ute) solskjermering.	
Gjennomsnittlig karnifaktor (F <sub>F</sub> )	0,01		
Solskjerminingsfaktor pga. horisont, nære bygninger, vegetasjon, og eventuelle bygningsutspring	0,74		

### KONKLUSJON FRA KONTROLLBEREGNINGEN:

► Boligen oppfyller ikke kriteriene i NS 3700: Passivhuskriterier, bolig

29. mai 2015  
dato

underskrift