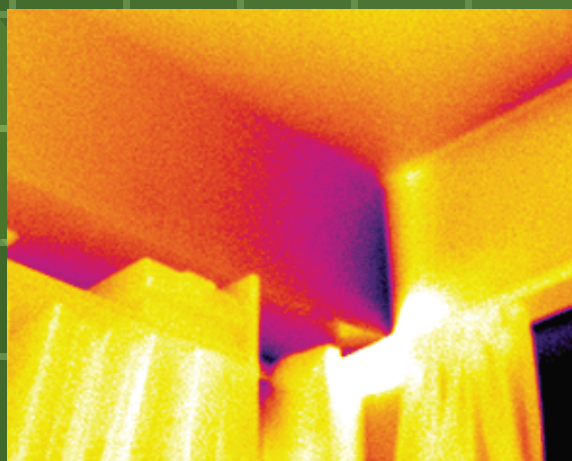
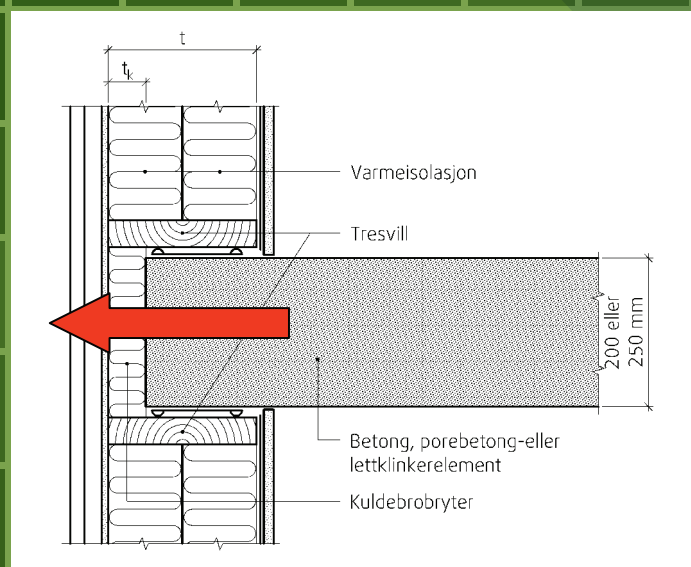


ARILD GUSTAVSEN, JAN VINCENT THUE, PETER BLOM, ARVID DALEHAUG,
TORMOD AURLIEN, STEINAR GRYNNING OG SIVERT UVSLØKK

Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk

Prosjektrapport 25

2008



SINTEF Byggforsk

Arild Gustavsen, Jan Vincent Thue, Peter Blom, Arvid Dalehaug,
Tormod Aurlien, Steinar Grynning og Sivert Uvsløkk

Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk

Prosjektrapport 25 – 2008

Prosjektrapport nr. 25

Arild Gustavsen^{1), 2)}, Jan Vincent Thue³⁾, Peter Blom²⁾, Arvid Dalehaug³⁾,
Tormod Aurlien²⁾, Steinar Grynning^{2), 3)} og Sivert Uvsløkk²⁾

Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk

Emneord:

Kuldebro, energibruk, transmisjonstap og U-verdier

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1037-5 (pdf)

Prosjektnummer: B21394

PDF-format

© Copyright SINTEF Byggforsk 2008

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

¹⁾ Institutt for byggekunst, historie og teknologi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Alfred Getz vei 3, NO-7491 Trondheim.

²⁾ SINTEF Byggforsk, P.O.Box 124 Blindern, NO-0314 Oslo/Høgskoleringen 7B, NO-7465 Trondheim.

³⁾ Institutt for bygg, anlegg og transport, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Høgskoleringen 7A, NO-7491 Trondheim.

Sammendrag

I denne rapporten blir følgende presentert:

- Definisjon av kuldebro
- Mulige konsekvenser av kuldebroer
- Metoder for å bestemme kuldebroverdien, inkl. ved numerisk beregning
- Kuldebroverdier for forskjellige konstruksjoner
- Et forslag til dynamisk KuldebroAtlas

Prosjektrapporten viser kuldebroverdier for forskjellige konstruksjoner som for eksempel for vindusinnsetting, overgang mellom vegg/tak, vegg/golv, for hjørner og for møne. Kuldebroverdier for etasjeskillere er også vist, og da for forskjellige typer etasjeskillere som betong, lettklinker og hulldekker.

Rapporten viser at kuldebroverdien kan variere mye for hver enkelt detalj, og er spesielt avhengig av tykkelsen på kuldebroyter. Videre vil kuldebroverdien for hvordan et vindu monteres i en vegg variere forholdsvis mye (fra 0,01 til 0,05 W/mK). For konstruksjoner på grunnen er det vanskelig å komme under en kuldebroverdi på 0,04 W/mK, siden det der vil være en geometrisk kuldebro i tillegg til materialbidraget.

Rapporten er finansiert av Husbanken, Boligprodusentenes forening, AF Gruppen, Skanska, Veidekke, Glava og Rockwool.

30. september 2008

Arild Gustavsén

Innhold

Sammendrag	3
1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Tidligere studier av kuldebroer og kuldebroverdier fra andre kilder	7
2 Hva er en kuldebro?	9
2.1 Kuldebroverdi (varmegjennomgangskoeffisient)	10
2.1.1 Hva regnes som kuldebro og hva skal med i bygningsdelenes U-verdi?	10
2.1.2 Normalisert kuldebroverdi	11
2.2 Geometriske kuldebroer	12
2.3 Eksempler på typiske kuldebroer	13
2.4 Termografering	17
3 Hvorfor unngå kuldebroer?	19
3.1 Økt varmetap	19
3.2 Lave overflatetemperaturer	19
3.2.1 Redusert komfort	20
3.2.2 Overflatekondens	21
3.2.3 Sverting (støvkondens)	21
3.3 Temperaturspenninger	21
3.4 Vurdering av konsekvens for kondens, komfort og varmetap	22
4 Metoder for å bestemme kuldebroverdi	23
4.1 Grovestimering/normalverdier	23
4.2 Tabelloppslag	24
4.3 Manuell beregning	25
5 Numerisk beregning av kuldebroverdier	26
5.1 Konstruksjoner over bakken	28
5.2 Konstruksjoner på grunnen og under grunnen	30
5.3 Grensebetingelser	34
5.4 Materialdata	34
6 Kuldebroverdier	36
6.1 Kuldebrofri konstruksjon, finnes det?	36
6.2 Effekt av betongens konduktivitet på kuldebroverdi	39
6.3 Vindusinnsetting	39
6.4 Betongsøyler	41
6.5 Overgang vegg og tak	43
6.6 Bruk av nye isolasjonsmaterialer	45
7 Varmetap og normalisert kuldebro	46
7.1 Varmetap	46
7.2 Eksempel på beregning av normalisert kuldebroverdi	47
8 Utbedring av kuldebroer i eksisterende bygninger	49
8.1 Varmeisolering	49
8.2 Varmekilder	49
Vedlegg A Tynnplate metodebeskrivelse	
Vedlegg B DataArk med kuldebroverdier	
Vedlegg C Byggdetaljer 471.017. Kuldebroer. Tabeller med kuldebroverdier (utdrag)	

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

På grunn av økt fokus på energisparing i form av konstruksjoner med mer isolasjon, tettere bygg, mer energieffektive varmegjenvinnere og lignende bygges det nå flere og flere lavenergiboliger uten at man fullt ut er kjent med potensielle bygningstekniske konsekvenser.

Blant annet kan det nevnes at revisjonen av Teknisk Forskrift til Plan- og bygningsloven i februar 2007, resulterte i krav om økte isolasjonstykkelser i bygningens ytterkonstruksjoner. For å få full effekt av endringene med hensyn på energibruk og samtidig å unngå utilsiktede følgeskader er det viktig at en rekke tekniske utfordringer gjennomgås og løses.

I denne rapporten fokuseres det på hvordan man kan redusere og for noen konstruksjoner unngå kuldebroer i nye, godt isolerte bygg. Hvordan kuldebroverdien for forskjellige konstruksjoner beregnes blir beskrevet og lineær varmegjennomgangskoeffisient for forskjellige konstruksjonsvarianter presenteres. Et eksempel på hvordan normalisert kuldebroverdi beregnes for et bygg vises også sammen med effekten på U-verdien til noen typiske konstruksjoner.

1.2 Tidligere studier av kuldebroer og kuldebroverdier fra andre kilder

Det finnes flere Byggetaljblad med informasjon om kuldebroverdier, lineær varmegjennomgangskoeffisient, for forskjellige konstruksjoner. De fleste er listet opp i tabellen nedenfor. Noen av disse byggetaljbladene har blitt oppdatert i etterkant av ny forskrift, mens dette prosjektet har blitt utført. Utdrag fra byggetaljblad 471.017 er lagt med som vedlegg til denne rapporten.

Tabell 1. Tabellen viser blad fra Byggforsk kunnskapssystemer som omhandler kuldebroer

Bladnummer	Tittel
471.015	Kuldebroer. Vurdering av konsekvenser og dokumentasjon av energibruk
471.016	Kuldebroer. Metoder for å bestemme kuldebroverdi
471.017	Kuldebroer. Tabeller med kuldebroverdier
521.112	Golv på grunnen med ringmur. Varmeisolering, frostsikring og beregning av varmetap.
720.015	Utbedring av kuldebroer

Det finnes også flere internasjonale standarder som omhandler beregning av kuldebroverdier. En standard angir også omtrentlige verdier for spesielle kuldebroverdier, men mange av disse verdiene er ikke representative for godt isolerte norske bygningskonstruksjoner. Alle standardene er likevel nevnt i tabellen nedenfor. Tabellen viser også en standard som inneholder hygrottermiske egenskaper (bl.a. varmekonduktivitet) til forskjellige byggematerialer.

Tabell 2. Tabellen viser standarder som omhandler kuldebroer

Standardnummer	Tittel
NS-EN ISO 10211	Kuldebroer i bygningskonstruksjoner - Varmestrømmer og overflatetemperaturer - Detaljerte beregninger (ISO 10211:2007)
NS-EN ISO 14683	Kuldebroer i bygningskonstruksjoner - Lineær varmegjennomgangskoeffisient - Forenklede beregningsmetoder og normalverdier (ISO 14683:2007)
NS-EN ISO 13370	Bygningers termiske egenskaper - Varmedoverføring via grunnen - Beregningsmetoder (ISO 13370:2007)
NE-EN 10456	Byggematerialer og -produkter - Hygrottermiske egenskaper - Tabulerte dimensjonerende verdier og prosedyrer for bestemmelse av deklarete og praktiske termiske verdier (ISO 10456:2007)

I flere tidligere arbeider, inklusive studentoppgaver, har også kuldebroene og kuldebroverdiene til forskjellige konstruksjoner blitt studert og rapportert, ofte som en del i et større arbeid. Nedenfor er noen arbeider listet opp. Prosjektoppgavene til Tømte (2006) og Grynning (2007), og Masteroppgavene til Solbjørg (2007) og Grynning (2008) har blitt utført i samarbeid med dette prosjektet.

- Lund, E. **1970**. Kuldebroer. Diplomarbeid, Institutt for husbyggingsteknikk, NTH.
- Buø, F.O., Lund, E., Ensrud, M., og Birkeland, Ø. **1981**. Kuldebroer, energisparing og byggskader. NBI Arbeidsrapport 36. Norges byggforskningsinstitutt.
- Ensrud, M., Haavaldsen, T. og Torgersen, S.E. **1982**. Kuldebroer. Varmetap, temperatur og beregninger. Anvisning 25, Norges byggforskningsinstitutt.
- Svendsen, M. **1990**. Kuldebroer og energibehov i dagens bygg. Diplomarbeid, Institutt for husbyggingsteknikk, NTH,.
- Myhre, L. og Dokka, T.H. **2004**. Energieffektive løsninger i småhus. Anvisning 40. Norges byggforskningsinstitutt.
- Thyholt, M. **2006**. Varmeforsyning til lavenergiboliger i områder med fjernvarmekonsesjon. Analyser av CO₂-utslipp og forsyningssikkerhet for elektrisitet. Doktoravhandling, Institutt for byggekunst, historie og teknologi, NTNU.
- Tømte, T.-O. **2006**. Geometriske kuldebroer i hjørner og sirkulære geometrier i passivhus med bindingsverksvegger. Prosjektoppgave, Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU.
- Solbjørg, K.K. **2007**. Effekt av nye energikrav i bygninger for murkonstruksjoner. Masteroppgave, Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU.
- Grynning, S. **2007**. Analyse av kuldebroproblematikk i flerfamiliehus. Prosjektoppgave, Institutt for Bygg, Anlegg og Transport, NTNU.
- Grynning, S. **2008**. Kuldebroens innvirkning på varmetap i flerfamiliehus. Masteroppgave, Institutt for Bygg, Anlegg og Transport, NTNU.

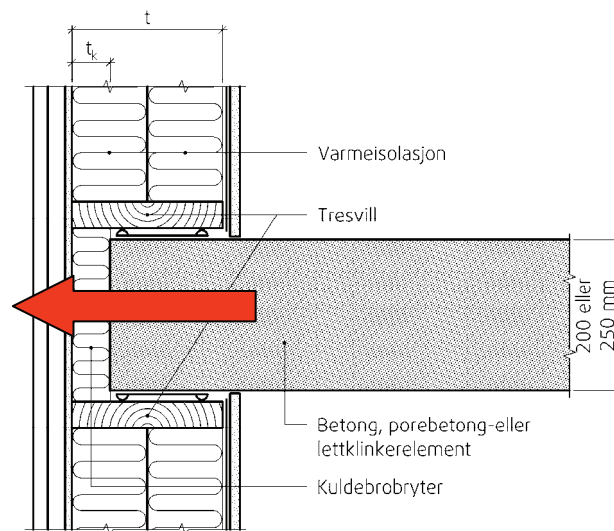
Konstruksjonene som studeres i de eldre rapportene kan være relevant når kuldebroer i eldre og eksisterende bygg skal vurderes.

2 Hva er en kuldebro?

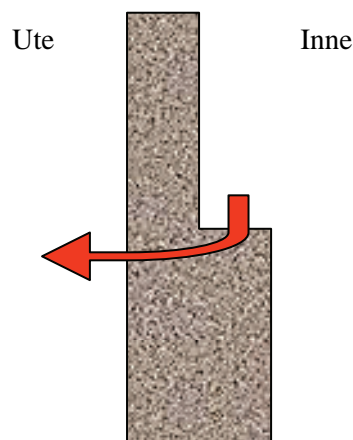
En kuldebro er en del av omsluttende konstruksjon der den ellers ensartede varmemotstanden endres betydelig av en eller flere av punktene nedenfor:

- hel eller delvis gjennomtrengning av den omsluttende konstruksjonen av materialer med høyere varmekonduktivitet
- en endring av konstruksjonens tykkelse
- en forskjell mellom innvendig og utvendig areal, som ved overganger mellom vegg/gulv/tak

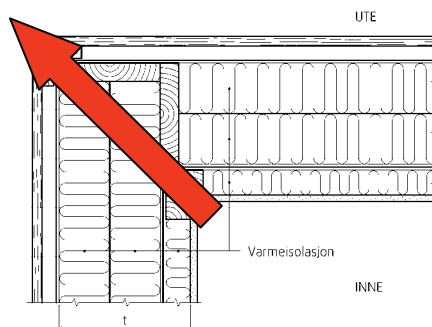
Eksempler på kuldebroer av typen a) er der en etasjeskiller eller innvendig skillevegg av betong går delvis ut i en yttervegg, se Figur 1. En kuldebro av typen angitt under punkt b) fås for eksempel hvis en vegg endrer tykkelse fra 25 cm til 15 cm, slik som vist i Figur 2. Hjørnet i Figur 3 illustrerer den type kuldebro som er beskrevet i punkt c) over. Denne detaljen er som figuren viser god isolert, men det vil likevel være en kuldebro. Årsaken er at det er en forskjell i størrelsen til innvendig og utvendig overflate (overflateareal).



Figur 1. Eksempel på kuldebro ved en etasjeskiller. Etasjeskilleren, som kan være av forskjellige materialer, trenger delvis igjennom isolasjonen i veggens forøvrig.



Figur 2. Illustrasjon av kuldebro ved endring i materialtykkelsen.



Figur 3. Eksempel på en hjørnekuldebro, som skyldes forskjell i utvendige og innvendige arealer.

Når man betrakter kuldebroer, er det vanlig å benytte forskjellige begreper. Kuldebrobryter er en benevnelse på isolasjonen som ligger i forkant av kuldebroen. Kuldebrobryteren har til hensikt å redusere virkningen av kuldebroen. Kuldebrobryteren er angitt med tekst i Figur 1. Hvis denne konstruksjonen også hadde hatt en kontinuerlig plate av mineralull utenfor bindingsverksveggen så ville denne også kunne benevnes kuldebrobryter ved utsiden av etasjeskilleren, selv om denne isolasjonsplaten også bidrar til veggens isolasjon for øvrig.

2.1 Kuldebroverdi (varmegjennomgangskoeffisient)

Kuldebroverdien til en overgangsdetalj angir kvantitativt hvor stort varmetap en kuldebro medfører. Kuldebroverdien (også ofte kalt lineær varmegjennomgangskoeffisient) har vanligvis enhet W/mK for lineære kuldebroer, slik som vist i figurene 1-3. Dvs. verdien angir varmetapet pr. lengdeenhet av kuldebroen og pr. grad temperaturforskjell. I denne rapporten vil symbolet Ψ benyttes for å angi størrelsen på den lineære kuldebroen (samme symbol er benyttet i standarden NS-EN ISO 10211¹). Der lineære kuldebroer møtes (i hjørner), for søyler, festemidler eller for andre tredimensjonale kuldebroer, er det vanlig å angi kuldebroverdien med enheten W/K. Symbolet som benyttes er da X .

Kuldebroverdien angies vanligvis med 2 desimaler. For eksempel så vil kuldebroverdien for hjørnet vist i Figur 3 være 0,03 W/mK for isolasjonstykkelser mellom 200 og 300 mm. For etasjeskilleren vist i Figur 1 vil kuldebroverdien variere avhengig av veggtykkelse, tykkelse på kuldebrobryteren og materialet som etasjeskilleren er laget av og størrelsen på denne. For en konstruksjon der etasjeskilleren er laget av betong og er 250 mm tykk, der det er en 100 mm kuldebrobryter og der bindingsverksveggen er 246 mm tykk vil kuldebroverdien være 0,08 W/mK. (Det er også mulig å få andre verdier, bl.a. avhengig av beregningsmetode. Dette er nærmere beskrevet nedenfor.)

2.1.1 Hva regnes som kuldebro og hva skal med i bygningsdelenes U-verdi?

I følge veiledningen til Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK 2007) skal kuldebroer som fremkommer gjennom konstruksjonsmåte, som stendere i en stenderverksvegg, være inkludert i U-verdien for yttervegg. Varmetap gjennom øvrige kuldebroer knyttet til etasjeskillere, pilastere, vinduer etc. skal reduseres til et minimum og vurderes spesielt, opp mot kravet til *normalisert kuldebroverdi*, som er definert i neste kapittel.

Ut fra dette er det naturlig at stendere og annet treverk som naturlig inngår i en vegg skal med i en veggs U-verdi. Dette treverket kan være stendere, losholt, ekstra stendere som benyttes til forsterking rundt vindu, evt. dobbel toppsvill etc. Tilsvarende er det naturlig at taksperrer og annet treverk som naturlig tilhører taket inngår i takets U-verdi. Dette samsvarer også med beregningsmetoder som

¹ NS-EN ISO 10211. Kuldebroer i bygningskonstruksjoner - Varmestrømmer og overflatetemperaturer - Detaljerte beregninger (ISO 10211:2007).

benyttes i andre land. U-verdien regnes da etter NS-EN ISO 6946², som tar hensyn til ikke-homogene sjikt. Mekaniske festemidler kan også innarbeides i U-verdien. En metode for hvordan dette gjøres er angitt i tillegg D.3 i NS-EN ISO 6946.

Tidligere har U-verdiene for bindingsverkskonstruksjoner i Byggforskserien blitt beregnet med minimum treandel. Det ble forutsatt enkel topp og bunnsvill og stendere med avstand 600 mm. For stendertykkelse på 36 mm tilsvarer dette 9 % treandel, og for en stendertykkelse på 48 mm tilsvarer dette en treandel på 12%. Få vegger har i praksis så lave treandeler. Nye U-verdi tabeller for bindingsverksvegger i Byggforskserien er beregnet med en større treandel, for eksempel 12 % for 36 mm stendere og 15 % for 48 mm stendere. Dette er antatt å være mer representative verdier for reelle vegger. Ideelt sett bør det enkelte bygg vurderes spesielt, og U-verdi beregnes for aktuell treandel.

Kuldebroene som vurderes spesielt opp mot kuldebrokravet i TEK er derfor hovedsakelig overganger mellom konstruksjoner slik som vegg/etasjeskiller, vegg/tak, vegg/golv, vegg/vindu, vegg/dør og der innvendig skillevegg møter yttervegg. Søylar av betong og stål i vegger vil også kunne medføre kuldebroer, når de trenger helt eller delvis igjennom isolasjonen. I tillegg vil geometriske kuldebroer bidra. Dette kan for eksempel være i vegghjørner. Andre typiske kuldebroer vil være for balkonger og ved svalganger.

Med utgangspunkt i avsnittene over så vil de kuldebroverdiene som rapporteres senere i rapporten ikke inkludere ekstra varmetap igjennom det ekstra treverket som ofte finnes ved for eksempel vinduer (losholt), og mot etasjeskillere. Effekten av dette treverket er tatt inn veggens U-verdi.

Avsnittene over er hovedsakelig rettet mot konstruksjoner der treverk er det bærende materialet, men tilsvarende gjelder også for bindingsverkskonstruksjoner av tynnplateprofiler (slisset eller ikke). Effekten av tynnplateprofilene inngår i veggens U-verdi. Merk da at beregningsmetoden for ikke-homogene sjikt i NS-EN ISO 6946 ikke kan brukes til å finne veggens U-verdi (kapittel 6.2 i NS-EN ISO 6946), men at andre metoder må benyttes. En metode som kan benyttes for tynnplateprofiler er behandlet i Appendiks A i denne rapporten.

For andre konstruksjonstyper som ikke faller inn under noen av avsnittene over, bør en se tilbake på formuleringen i veiledningen til teknisk forskrift ved vurdering av hva som er en kuldebro og hva som skal inn i konstruksjonens U-verdi.

2.1.2 Normalisert kuldebroverdi

I Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK 2007) ble det introdusert et nytt kuldebrobegrep, *normalisert kuldebroverdi*. Det er denne verdien det stilles krav til i de nye forskriftene. I veiledningen til teknisk forskrift er dette skrevet som:

Begrensning av varmetap gjennom kuldebroer kan anses som tilfredsstillende dersom normalisert kuldebroverdi beregnet etter NS 3031 ikke overstiger 0,03 W/m²K for småhus og 0,06 W/m²K for andre bygninger, der arealet (m²) angis i oppvarmet BRA.

Normalisert kuldebroverdi er definert som

$$NKV = \frac{\sum_i \Psi_i \cdot l_i + \sum_i X_i}{A_{BRA}}$$

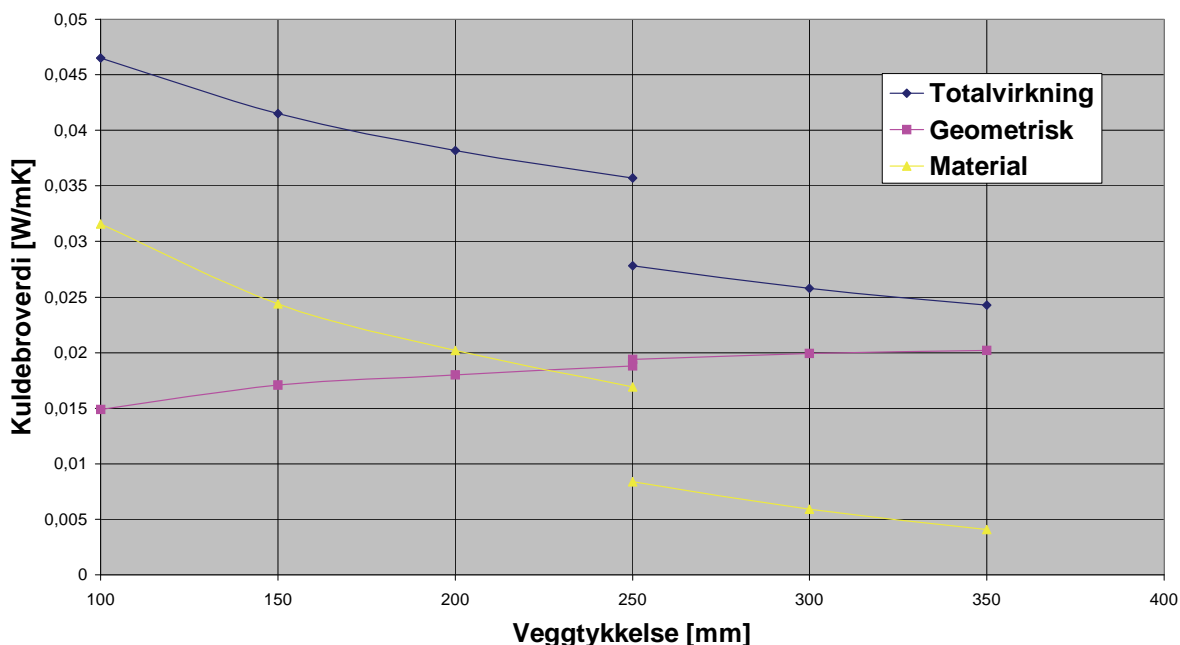
² NS-EN ISO 6946. Bygningskomponenter og –elementer. Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient. Beregningsmetode.

der Ψ_i angir kuldebroverdien for en lineær kuldebroer (lineær varmegjennomgangskoeffisient), l_i angir lengden på de respektive kuldebroene og A_{BRA} angir oppvarmet bruksareal (BRA). X_i angir varmetapet fra kuldebroer som er tredimensjonale (punktkuldebroer). Dette kan for eksempel være betongsøyler som benyttes for arkader, eller for en pipe som trenger igjennom et isolasjonssjikt. Enheten for punktkuldebroa er W/K. Bruksarealet er lik bruttoarealet minus arealet som opptaes av yttervegger, se NS 3940³. Normalisert kuldebroverdi beregnes for hele bygningen.

2.2 Geometriske kuldebroer

Man vil alltid ha en kuldebro når overflatearealene for utvendig flate og innvendig flate er forskjellig, selv om det ikke er noen andre materialer som trenger igjennom isolasjonssjiktet (punkt c. i definisjonen). For en kuldebro av typen som er vist i Figur 3 kan det derfor være ønskelig å skille mellom det geometriske bidraget til kuldebroen og materialbidraget. Den geometriske kuldebroverdien er det man finner hvis man kun ser på konstruksjonen uten noe ekstra materialer som trenger helt eller delvis igjennom konstruksjonen. Kuldebrobidraget som skyldes de ekstra stenderne i hjørnet kalles materialbidraget. I praksis vil den totale kuldebroverdien være avhengig av både geometrien og materialsammensetningen.

Tømte (2006)⁴ studerte hvor stor den geometriske kuldebroen er for et vegg hjørne av bindingsverk ved varierende isolasjonstykkelse, og framstilte dette grafisk som vist i figuren nedenfor. Figuren viser at den geometriske kuldebroverdien øker med isolasjonstykkelsen og ikke er lavere enn 0,015 W/mK for veggtypene som er studert her (isolasjonstykkelse større enn 100 mm). For en vegg med 250 mm isolasjon (standard isolasjonstykkelse i henhold til TEK 2007) så vil det geometriske bidraget være ca. 0,02 W/mK (spranget i kurvene skyldes at dobbeltvegg er benyttet for isolasjonstykkelse større eller lik 250 mm). Den totale kuldebroverdien for dette hjørnet (utadgående hjørne) er ca. 0,03 W/mK, for en vegg med enkle stendere.



Figur 4. Figuren viser det geometriske kuldebrobidraget og materialbidraget for et utadgående hjørne mellom bindingsverksvegger (Tømte 2006). Spranget i kurvene ved 250 mm skyldes at en dobbeltvegg er benyttet for isolasjonstykkelse større eller lik 250 mm og enkeltvegg er benyttet for veggtykkelse lavere eller lik 250 mm (Tømte 2006).

³ NS 3940. Areal- og volumberegning av bygninger.

⁴ Tømte, T.-O. 2006. Geometriske kuldebroer i hjørner og sirkulære geometrier i passivhus med bindingsverksvegger. Prosjektoppgave, Institutt for bygg, anlegg og teknikk, NTNU.

For konstruksjoner mot grunnen (overgang mellom vegg og golv) og for overgang mellom vegg og tak vil en oppleve tilsvarende effekt som for hjørnekonstruksjonen over (overgang mellom to yttervegger). Selv om det er godt isolert rundt en ringmur så vil det likevel være en viss kuldebro som skyldes den geometriske virkningen. Målet for alle konstruksjoner må derfor være å redusere materialbidraget til et minimum.

2.3 Eksempler på typiske kuldebroer

Nedenfor vises det en del bilder fra forskjellige byggeplasser, med den hensikt å sette fokus på en del konstruksjonsdetaljer der en må være oppmerksom på kuldebroer. Noen figurer er også tatt med for å vise konstruksjonsdetaljer som ikke er så lett er synlig fra et bilde. Figur 5 til Figur 8 viser bilder fra 4 like boligblokker som er ferdig i ulik grad. Figur 5 viser en blokk som nesten er ferdig, mens Figur 6 viser et bilde av en annen blokk der bærekonstruksjonen fortsatt er synlig. Kuldebroer som en må være spesielt oppmerksomme på er der etasjeskiller (som her er av hulldekkelementer) møter en yttervegg og i overgang vegg/tak, vegg/golv og ved hjørner. Kuldebroeffekten av bærekonstruksjonen i stål og innfestingen av balkongene må også vurderes spesielt, se henholdsvis Figur 7 og Figur 8.

Figur 9 viser et eksempel der betong er benyttet som etasjeskiller og skillevegg. Etasjeskilleren benyttes til understøtting av teglstein, som benyttes som utvendig kledning. Gjennomgående betong vil kunne utgjøre forholdsvis store kuldebroer.



Figur 5. Bilde av en nesten ferdig boligblokk.



Figur 6. Bilde fra tilsvarende boligblokk som vist i figuren over, men der bærekonstruksjon og etasjeskillere fortsatt er synlig.



Figur 7. Bilde av søyler og avstivingkryss av stål. Brannisolasjon legges rundt stålprofilene.



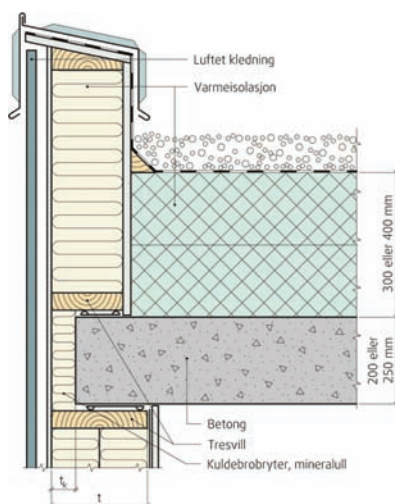
Figur 8. Bilde av overgang mellom vegg og balkong. Her er det stålprofiler som går fra etasjeskilleren og inn i balkongplata.



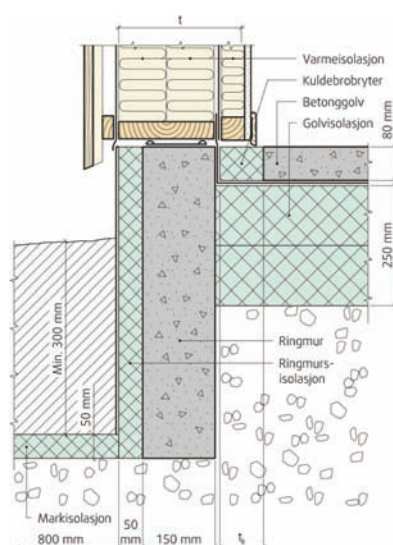
Figur 9. Dette bildet viser gjennomgående betong i en tegl/tre fasade.

Figur 10 viser en detalj for overgang mellom yttervegg med luftet kledning og kompakt tak med bærekonstruksjon av betong. Her vil effekten av kuldebroen være avhengig av både isolasjonstykkelsen i taket og veggen, mens tykkelsen på kuldebryteren vil ha størst betydning. Kuldebroen skyldes både redusert isolasjon på utsiden av betongdekket og forskjell i innvendig og utvendig overflateareal (geometrisk kuldebro). Hvis man benytter en 100 mm tykk kuldebryter får man en kuldebroverdi på 0,16 W/mK hvis veggen har ca. 250 mm isolasjon, taket har 300 mm isolasjon og hvis betongdekket er 250 mm tykt.

Figur 11 viser overgang mellom yttervegg av bindingsverk av tre, utvendig isolert ringmur og betonggolv. Her vil tykkelsen t_k på kuldebryteren ha stor betydning for hvor stor kuldebroverdien blir. For en vegg med ca. 250 mm isolasjon og ingen kuldebryter blir kuldebroverdien lik 0,26 W/mK, mens en 50 mm tykk kuldebryter gir en kuldebroverdi på 0,07 W/mK. Økes tykkelsen på kuldebryteren til 100 mm reduseres kuldebroverdien til 0,05 W/mK. Man bør derfor tilstrebe noe isolerende materiale for å redusere varmestrømmen.



Figur 10. Yttervegg med luftet kledning mot kompakt tak med bærekonstruksjon av betong.



Figur 11. Tilslutning mellom yttervegg av bindingsverk av tre, utvendig isolert ringmur og betonggolv.

Figur 12 viser to eksempler på hvordan et vindu kan settes inn i en vegg, henholdsvis i flukt med ytterkledning og helt inntrukket. Eksempelet representerer ikke nødvendigvis akseptabel byggeskikk i Norge, men det illustrerer hvor forskjellige vinduer kan settes inn i en vegg, ofte for å få forskjellig arkitektoniske uttrykk. De ulike innsetningsmåtene vil gi store variasjoner i kuldebroverdi, noe som vises senere i rapporten.

Figur 13 viser også eksempel på tilslutning mellom vegg og vindu. Denne figuren viser i tillegg et eksempel på tilslutning mellom tak og vindu, en detalj som ofte kan kreve litt større tilpasninger enn ellers, siden tykkelsen på isolasjonen i taket ofte er større enn isolasjonen i veggene, og fordi et takvindu ofte er utsatt for større klimapåkjenninger enn et veggvindu. Dette vil kunne føre til mer treverk rundt vinduet og skråskjæring av isolasjon. Figur 13 viser også en annen detalj som vil kunne føre til kuldebro, nemlig tilslutning mellom en garasje og en bygning. Dette kan være utført som her, med garasjen ved siden av boligen, eller med parkeringsplassene under huset, noe som i dag er ganske vanlig i forbindelse med leilighetsbygg.

I resultatdelen av rapporten vises flere eksempler på konstruksjoner og deres kuldebroverdier.



Figur 12. Eksempel på tilslutning mellom vindu og yttervegg, fra bygning i Sveits (representerer ikke nødvendigvis akseptabel byggeskikk i Norge).



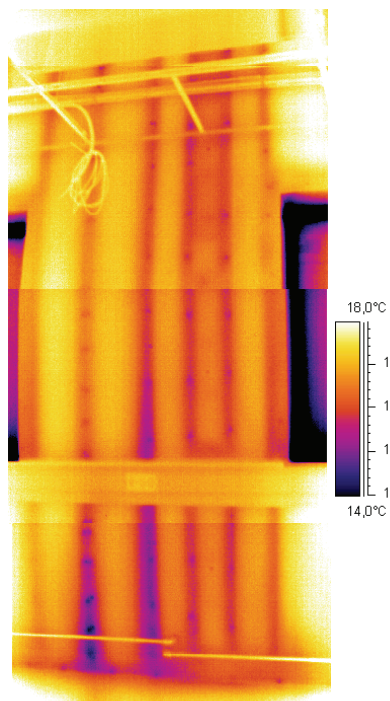
Figur 13. Eksempel på tilslutning mellom vindu og yttervegg og vindu og tak, fra bygning i Sveits (representerer ikke nødvendigvis akseptabel byggeskikk i Norge).

2.4 Termografering

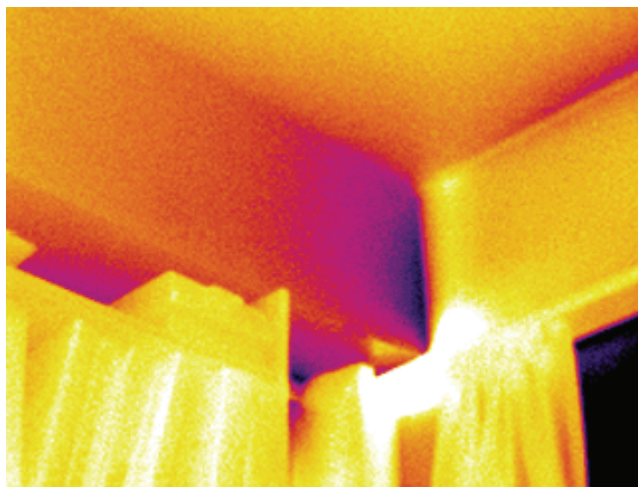
Termografering er fotografering med et kamera som måler infrarød stråling (varmestråling). Termografering kan benyttes for å se hvordan kuldebroene påvirker overflatetemperaturen til konstruksjonene. Termogrammene for noen konstruksjoner er vist nedenfor. Figur 14 viser ferdig innvendig overflate for en yttervegg. I vegg er det benyttet uslissede stålplateprofiler som stendere. Figur 15 viser et termogram av samme vegg, dvs. et bilde der hver farge tilsvarer en temperatur. Det fremgår av termogrammet at stålplateprofilene som er benyttet her leder varme godt, og at det for hver stålplateprofil blir forholdsvis lave temperaturer på innvendig overflate. Figur 16 og Figur 17 viser to andre eksempler der kuldebroer fører til lokale partier med en lokal, sterk varmestrøm og et ekstra varmetap. Figur 16 viser et termogram av kuldebro i form av en betongbjelke som går ut i yttervegg. Figur 17 viser et termogram av normal kuldebro i dekke i moderne murt bygning (bildet er tatt av utvendig side av vegg). I isolerte bygningskonstruksjoner vil kuldebroer bestå av materialer med relativt høy varmekonduktivitet (varmeledningsevne), som f.eks. tegl, betong og metaller. Kuldebroer gir redusert temperatur på innendørs overflater og hevet overflatetemperatur utendørs.



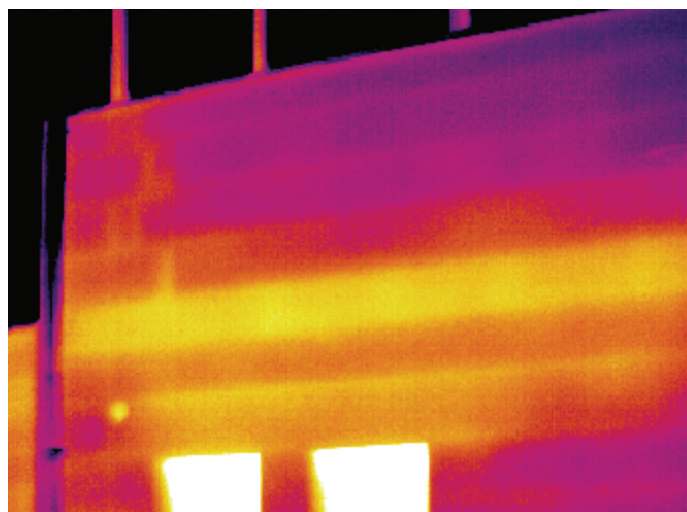
Figur 14. Bildet viser innvendig overflate for en yttervegg der det er benyttet tynnplateprofiler som ikke er slisset.



Figur 15. Termogram av samme vegg som vist i figuren over. Sammenhengen mellom temperatur og farge er vist til høyre i figuren.



Figur 16. Termogram av kuldebro i betongbjelke som går ut i yttervegg. Mørke farger angir kald overflate og lyse farger angir varm overflate.



Figur 17. Termogram av normal kuldebro i dekke i moderne murt bygning (bildet er tatt fra av ytterfasaden). Gul/lyse farger viser deler av konstruksjonen som er varme, dvs. de delene av konstruksjonen som leder varme godt fra innsiden av bygget til utsiden.

3 Hvorfor unngå kuldebroer?

Kuldebroer kan ha en rekke uheldige konsekvenser, som delvis griper inn i hverandre og som også kan påvirke og forsterke hverandre:

- økt varmetap
- lave overflatetemperaturer
 - redusert komfort
 - overflatekondens
 - sverting (støvkondens)
- temperaturspenninger

Kuldebroene fører til økt varmetap som igjen kan føre til lav overflatetemperatur. Lav overflatetemperatur kan videre føre til redusert komfort, overflatekondens, sverting og temperaturspenninger.

Å utbedre en kuldebro i ettertid er mye mer kostbart enn å ta hensyn til kuldebroproblematikken allerede i prosjekteringsfasen. Det er derfor viktig å ha fokus på kuldebroer tidlig i prosjekteringsfasen. Nedenfor er konsekvensene av kuldebroer diskutert nærmere.

3.1 Økt varmetap

Kuldebroene fører til økt varmetap fra bygningene på grunn av redusert varmemotstand lokalt i konstruksjonen, eller som følge av forskjell i innvendig og utvendig arealer.

Varmetapet gjennom kuldebroer kan utgjøre en relativt stor prosentandel av det totale transmisjonsvarmetapet gjennom bygningsdelene, spesielt for eldre bygninger som har isolasjonslag som brytes helt av materialer med høyere konduktivitet. Det kan derfor være penger å spare på å redusere kuldebroene. Størrelsen på varmetapet som skyldes kuldebroene vil ellers variere fra bygning til bygning, og er vanligvis minst for bygninger som er utført i lette konstruksjoner, da de er lettere å redusere kuldebroene i slike konstruksjoner.

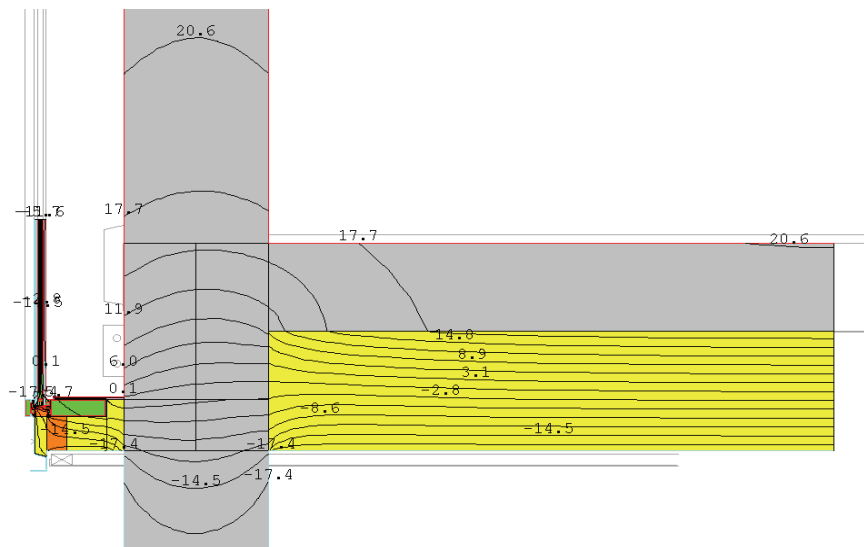
Varmetap som skyldes en bygnings kuldebroer vil ellers studeres nærmere i senere kapitler.

3.2 Lave overflatetemperaturer

Kuldebroer kan medføre lave temperaturer lokalt på innsiden av konstruksjonen. Dette er illustrert i Figur 18, som viser en betongsøyle som trenger direkte igjennom isolasjonslaget i golv mot det fri. Til venstre for søylen, over betongdekket (i andre etasje) er det en glassfasade. Under betongdekket og isolasjonen er det en inntrukket fasade i første etasje (ikke vist på figuren). Andre etasje holdes oppe av betongsøyler. Innvendig overflatetemperatur for søylen kan, som figuren viser, bli meget lav ved lave utetemperaturer.

Det er større risiko for lave overflatetemperaturer i kroker og hjørner hvor det er mindre luftbevegelse enn ved frie flater.

Lave overflatetemperaturer kan igjen føre til flere problemer, som omtales i egne underkapitler. Kuldebroer senker overflatetemperaturen og kan derfor medføre nedsatt varmekomfort. Det gjelder imidlertid først og fremst i områder hvor golvtemperaturen blir nedsatt som følge av kuldebrovirkning.



Figur 18. Temperaturfordelingen for en konstruksjon der betongsøyle trenger rett igjennom isolasjonslaget. Beregningen er gjort ved en utetemperatur på -20 °C og innetemperatur på 22 °C . Overflatetemperaturen til søylen kan under spesielle forhold bli nær 0 °C .

3.2.1 Redusert komfort

Termisk komfort (ev. varmekomfort) er en subjektiv følelse eller sinnstilstand der vi er tilfreds med de termiske omgivelsene. Vi ønsker det verken kaldere eller varmere, verken for kroppen som helhet eller for de enkelte kroppsdelene som føtter, nakke e.l. Vår termiske komfort er avhengig av bekledningen, aktivitetsnivået og det termiske inneklimaet.

Termisk inneklima er fysiske faktorer i inneklimaet som har innflytelse på vår termiske komfort. Dette inkluderer:

- lufttemperatur
- temperatur på omgivende flater (vegger/vinduer, himling og golv) eller strålingstemperatur (f.eks. termisk strålingsutveksling mellom kroppen og omgivende flater)
- lufthastighet
- luftfuktighet

Det er temperaturen på omgivende flater som hovedsakelig påvirkes av kuldebroer. Hvis det oppstår lav overflatetemperatur kan brukeren øke lufttemperaturen for å bedre komforten. Høyere lufttemperatur fører igjen til økt varmetap gjennom alle konstruksjonene.

Som det framgår av teksten ovenfor, er det mange andre faktorer enn kuldebroer som kan ha innvirkning på en persons komfort. Kuldebroer i vegger og tak har vanligvis liten betydning for varmekomforten fordi de nedkjølte flatene vanligvis er små. Det er i første rekke kuldebroer som fører til nedsatt golvtemperatur som kan redusere varmekomforten. For golv, som er den delen av en bygning menneskene stort sett er i direkte kontakt med, er det formulert noen komfortkrav som en konstruksjon kan vurderes opp i mot. Kravene knyttes da opp mot oppholdssonen⁵. Denne begrenses horisontalt av golvet og et plan 1,8 m over golvet. Vertikalt begrenses sonen av loddrette plan parallelle med rommets vegger, i en avstand av 0,6 m fra disse. Dette vil altså si at det kan formuleres et temperaturkrav for golvoverflaten 0,6 m fra yttervegg. Hvis man kan tillate en liten andel misfornøyde (noe det vanligvis alltid vil være uansett forhold), så bør golvtemperatur være over ca. 19 °C for mennesker med lett, innendørs fottøy. Golvkonstruksjoner kan derfor vurderes opp mot denne

⁵ BKS 421.501. Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort.

temperaturen. Hvis oppholdssonen til brukerne av bygningen er nærmere yttervegg enn 0,6 m (for eksempel for en kontorlass), bør temperaturkravet også gjelde der.

3.2.2 Overflatekondens

Overflatekondens oppstår vanligvis som følge av både høy luftfuktighet og lav overflatetemperatur. I romluft som blir avkjølt lokalt mot en kald overflate, øker relativ luftfuktighet (RF) ved overflaten etter hvert som temperaturen synker, til den når 100 % ved luftas duggpunktstemperatur. Dersom overflatetemperaturen er lavere enn luftas duggpunktstemperatur, avgir lufta fukt som kondens (dugg) på flaten. Hvis vanddamp kondenserer på flater med temperatur lavere enn 0 °C, blir kondensen rim eller is. Kondens og høy RF på innvendige overflater kan føre til estetisk skjemmende muggvekst eller sverting, ødelagte overflatematerialer og/eller negative helseeffekter på grunn av muggvekst⁶. Kondens bør derfor unngås. Kondens kan også oppstå inne i konstruksjonene, hvis fuktig luft strømmer ut gjennom utettheter i konstruksjonene eller ved diffusjon av vanddamp.

Skal man vurdere om en detalj kan være utsatt for muggvekst må man vurdere om det er fare for at kritisk relativ fuktighet kan oppstå på overflaten. De vanligste muggsoppene innendørs krever RF over 80–85 % på materialoverflaten eller i porer i materialoverflaten. Muggsopp er ellers også avhengig av at temperaturen er over ca. +5°C.

Ved lokal kondens eller muggvekst er overflatetemperaturen lavere enn for omkringliggende flater. Men det er ikke dermed gitt at det er kuldebroen i seg selv som er problemet, selv om den er en del av problemet. Det kan også være at ventilasjonen av bygningen eller rommet er dårlig, slik at fuktighet som tilføres rommet ikke blir ventilert ut. Som presentert over så vil det alltid være kuldebroer i enhver bygningskonstruksjon, og ”normale” kuldebroer fører ikke til overflatekondens, gitt at luftfuktighetsnivået ikke er spesielt høyt eller utetemperaturen spesielt lav. I godt ventilerte bygninger med lavt eller middels luftfuktighetsnivå vil som regel ca. 20 mm kuldebroisolasjon være tilstrekkelig til å unngå kondens^{5, 7}. Det finnes en egen beregningsmetode for å vurdere om man risikerer problemer med muggvekst eller overflatekondens. Denne er nærmere beskrevet i BKS 471.111⁸, som bygger på den internasjonale standarden NS-EN ISO 13788⁹.

3.2.3 Sverting (støvkondens)

Sverting eller støvkondens opptrer på de samme stedene der man i ekstreme tilfeller også får fukt-kondensering. Forskjellen er at det i tilfellet med sverting er støvpartikler fra lufta som fester seg til overflaten og gir sjenerende sverting omkring kuldebroen fordi støvpartikler fester seg lettere til kalde overflater enn til varme. Dette skjer ved mindre forskjeller mellom ute- og innetemperatur enn ved fukt-kondensering. Trekk inn gjennom sprekker i en konstruksjon som er kald, kan blåse støvpartiklene bort. Det kan da danne seg skjolder med renblåste partier i et skittent område.

3.3 Temperaturspenninger

Som følge av ulike temperaturgradienter i områdene rundt kuldebroen kan det oppstå så store spenninger at konstruksjonen kan få sprekker.

⁶ BKS 740.111 Kondens på kalde overflater. Årsaker og tiltak.

⁷ BKS 720.015 Utbedring av kuldebroer.

⁸ BKS 471.111 Beregningsmetode for å unngå kondens eller muggvekst på innvendige overflater.

⁹ NS-EN ISO 13788:2001. Bygningskomponenters og bygningsdelers hygrottermiske egenskaper. Innvendig overflatetemperatur for å unngå kritisk overflatefuktighet og kondensasjon i bygningskomponenter eller bygningsdeler. Beregningsmetode.

3.4 Vurdering av konsekvens for kondens, komfort og varmetap

For å vurdere hvorvidt en tilslutningsdetalj er en alvorlig kuldebro eller ikke, må det undersøkes om et godt varmeledende materiale som f.eks. betong eller metaller, går mer eller mindre ubrutt fra innside til ytterside gjennom en isolert konstruksjon. Når en kuldebro er lokalisert, må konsekvensene av denne vurderes. Dette kan imidlertid være vanskelig, og man må som oftest ty til beregninger for å få et bedre vurderingsgrunnlag, noe som omhandles nærmere i de to neste kapitlene.

Man bør likevel legge merke til følgende forhold:

- En kuldebro som står i direkte kontakt med overflatematerialer med god varmeledning, gir større varmetap enn om overflatene er mindre varmeledende. For eksempel gir en bindingsverksvegg av stålstendere kledd med metallplater et større varmetap enn tilsvarende vegg kledd med gipsplater.
- Kondens er først og fremst problematisk i rom med høy relativ fuktighet. Dette er rom med høy fuktproduksjon, med konstant eller periodevis lav temperatur, eller med utilfredsstillende ventilasjon.
- Mugg og misfarging/sverting opptrer først i kroker og hjørner i overgangen mellom bygningsdeler. Her blir overflatetemperaturen ekstra lav som følge av redusert varmetilførsel fra rommet. Det skyldes dels endrede strålingsforhold og dels at luften er mer stillestående på slike steder.
- Skap, hyller og andre møbler som står opp mot en yttervegg, kan virke som ekstra varmeisolering. Ved kuldebroer kan dette gi en svært lav innvendig overflatetemperatur bak møbelet og føre til sverting, kondens og ev. muggvekst.

4 Metoder for å bestemme kuldebroverdi

Dokumentasjon av tilleggsvarmetap fra kuldebroer (kuldebroverdi) kan utføres på ulike måter, slik som angitt i tabellen nedenfor. Tabellen inneholder også forventet usikkerhet for de forskjellige metodene.

Tabell 3. Beregningsmetoder for lineær varmegjennomgangskoeffisient med forventet usikkerhet¹⁰.

Metoder	Forventet usikkerhet for Ψ
Numerisk beregning	$\pm 5\%$
Kuldebrotabeller	$\pm 20\%$
Manuell beregning	$\pm 20\%$
Grovesitimering/normalverdier	0 – 50 %

Når detaljene ikke er ferdig utformet, men størrelsen og hovedformen på en bygning er definert, slik at arealene av de ulike delene av den omsluttende konstruksjonen som tak, vegger og golv er kjent, er det bare mulig å foreta en grovestimering av kuldebroenes bidrag til det totale varmetapet.

Når de overordnede detaljene er tilgjengelige på et senere tidspunkt, er det mulig å oppnå mer nøyaktige verdier for kuldebroverdien ved for eksempel å sammenligne aktuell konstruksjon mot den konstruksjonen i en kuldebrotabell som passer best. På dette stadiet er det også mulig å benytte manuelle beregninger¹⁰.

Når alle detaljer er kjent, kan alle metodene benyttes for bestemmelse av kuldebroverdien, inkludert numeriske beregninger som gir den mest nøyaktige kuldebroverdien¹⁰.

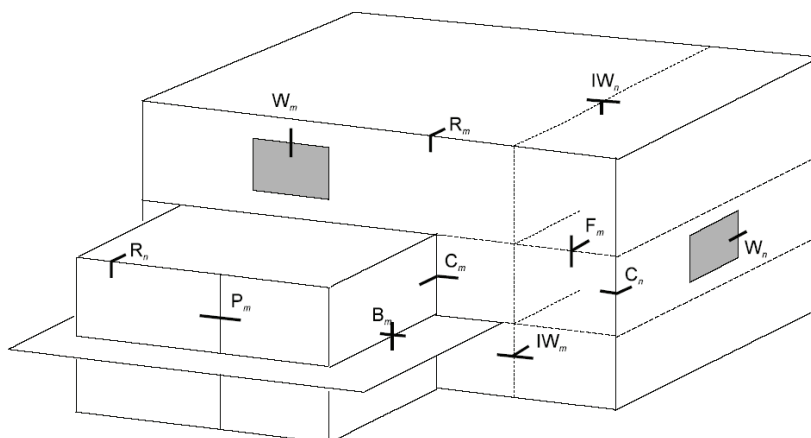
De tre nederste metodene i tabellen er kort omtalt nedenfor. Numerisk beregning er beskrevet mer detaljert i neste kapittel, siden det er denne metoden som benyttes i denne rapporten.

4.1 Grovestimering/normalverdier

Tidlig i en prosjekteringsituasjon er det ofte fornuftig å begynne med vurderinger basert på grovestimering. Grovestimerte kuldebroverdier bør være på den sikre siden, og i mange tilfeller vil de være svært mye til den sikre siden (dvs. at man regner med større kuldebroverdier enn de virkelige). Senere i prosjekteringsfasen kan man vurdere å bruke ressurser på mer nøyaktig dokumentasjon. Man kan også velge ikke å gå videre i mer nøyaktig dokumentasjon. I så fall kan ferdig bygning ha bedre energimessige egenskaper enn det som er dokumentert. Man kan få noe høyere kostnader i investeringsfasen til bygningen enn strengt tatt nødvendig, men man sparer energi og prosjekteringskostnader.

Til denne grovberegningen er det mulig å bruke normalverdier for den lineære varmegjennomgangskoeffisienten. Slike verdier finnes i standarden NS-EN ISO 14683. Standarden inneholder verdier for forskjellige typiske konstruksjonstyper. Verdiene avhenger for eksempel av hvor på bygningen kuldebroen er og hvordan isolasjonen er plassert i forhold til bærekonstruksjonen, se Figur 19. Verdiene er ikke alltid like relevant for typiske norske konstruksjoner, men kan være et godt utgangspunkt¹⁰.

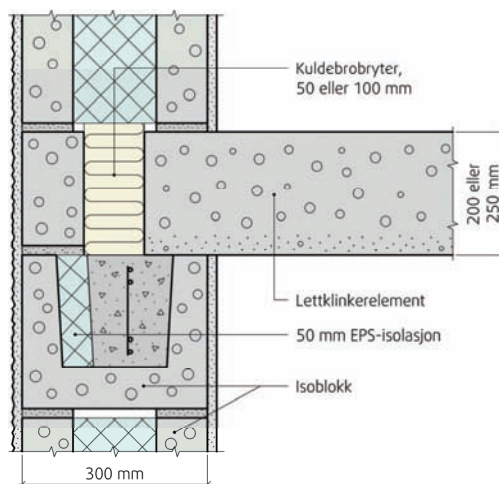
¹⁰ NS-EN ISO 14683. Kuldebroer i bygningskonstruksjoner. Lineær varmegjennomgangskoeffisient. Forenklete beregningsmetoder og normalverdier.



Figur 19. Figur fra NS-EN ISO 14683 som viser plassering av typiske kuldebroer for en bygning.

4.2 Tabelloppslag

Kuldebrotabeller inneholder hovedsakelig faste parametere som faste mål og materialer, og er derfor mindre fleksible enn beregninger. Vanligvis vil eksempler fra en tabell ikke svare nøyaktig til den faktiske detaljen som vurderes. Dette medfører derfor en usikkerhet i angivelsen av kuldebroverdien Ψ . Det er likevel mulig å bruke kuldebroverdien i tabellen, forutsatt at både målene og de termiske egenskapene for konstruksjonen i tabelleksempelen er like de for den aktuelle detaljen, eller er termisk mindre gunstig enn de for den aktuelle detaljen¹⁰. Interpolering mellom to tabellverdier for to konstruksjonsdetaljer er også mulig for å finne kuldebroverdien. Et eksempel på en detalj med kuldebroverdier fra en kuldebrotabell er angitt i figuren nedenfor.



Tabell 12
Kuldebroverdier, Ψ (W/(mK))

Bredden på kuldebrobryter mm	Dekketykkelse	
	200 mm	250 mm
50	0,05	0,06
100	0,02	0,02

Figur 20. Eksempel på kuldebrotabell fra Byggedetaljer 471.017.

4.3 Manuell beregning

Det finnes flere manuelle beregningsmetoder som kan benyttes for å finne kuldebroverdien til en aktuell konstruksjon. Det er imidlertid vanskelig å si noe generelt om nøyaktigheten til slike metoder siden de ofte er for en bestemt type kuldebro. Derfor kan en bestemt manuell beregning være svært nøyaktig for en type kuldebro, men svært unøyaktig for annen type kuldebro. En manuell metode er angitt i BKS 471.016 *Kuldebroer – Metoder for å bestemme kuldebroverdi*, der også de andre metodene er nærmere beskrevet.

5 Numerisk beregning av kuldebroverdier

Som nevnt over så finnes det internasjonale standarder for numerisk beregning av kuldebroverdier. Spesielt omhandler standarden NS-EN ISO 10211 beregningsmetoder som bør benyttes når kuldebroverdien skal finnes. Man bør også ha klart for seg hvordan U-verdiene og transmisjonstapet for bygningen skal beregnes før man beregner kuldebroverdien. Årsaken til dette er at metoden for beregning av U-verdi og transmisjonstap vil legge føringer på beregningsmetodikken som benyttes til utregningen av kuldebroverdiene.

I Norge benyttes standarden NS 3031¹¹ for å finne varmetap fra bygninger. I denne standarden inngår metoder for hvordan man skal finne samlet transmisjonstap. Ifølge NS 3031 beregnes varmetransportkoeffisienten, H_D , for konstruksjoner mot det fri i henhold til følgende likning

$$H_D = \sum_i U_i \cdot A_i + \sum_j \Psi_j \cdot l_j + \sum_k X_k \quad [\text{W/K}].$$

U_i er varmegjennomgangskoeffisienter (U-verdi) for bygningsdel i og A_i er arealet til bygningsdelene regnet som *innvendig areal* i m^2 . For vinduer skal totalt vindusareal benyttes, inkludert arealet av karm/ramme. Videre skal det tas hensyn til vinduets størrelse, form, og bruken av sprosper, poster og losholter. Ψ_j er kuldebroverdien for de lineære kuldebroene og l_j er lengden av de lineære kuldebroene. Ved beregning av kuldebroverdiene skal innvendig mål benyttes. X_k er kuldebroverdien for punktkuldebroene.

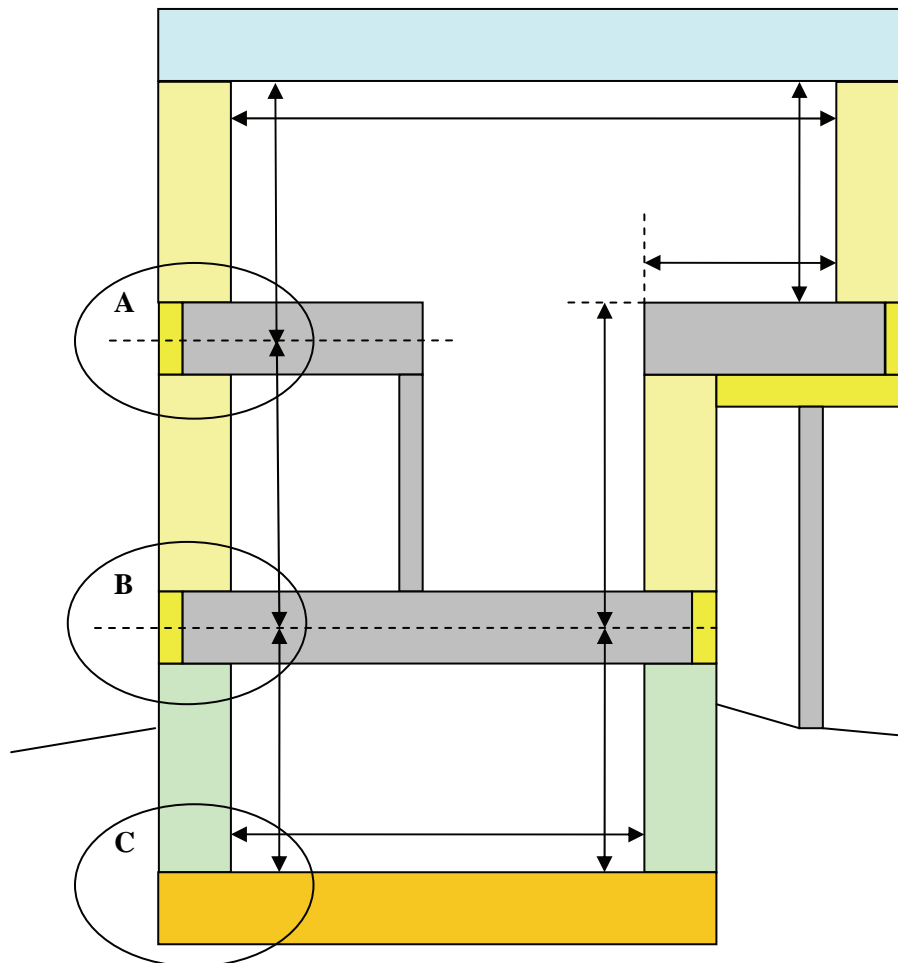
Det som er spesielt viktig her er angivelsene av arealene som skal benyttes ved beregning av transmisjonstapet (*innvendig areal*). Dette vil styre måten kuldebroverdiene beregnes på. I Figur 21 er det illustrert hvilke mål dette representerer når kuldebroverdiene beregnes¹², og også når det tilhørende transmisjonstapet skal beregnes etter NS 3031.

Følgende kan påpekes for konstruksjoner over bakken:

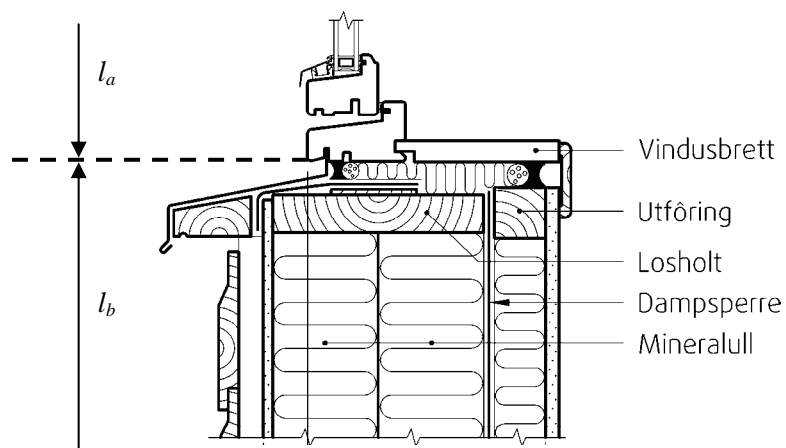
- Når transmisjonstapet skal finnes for en vegg som inkluderer en etasjeskiller, og der veggene over og under etasjeskilleren er like, dvs. har samme U-verdi, så inngår arealet til etasjeskilleren i veggens areal. Dette medfører at kuldebroverdien som rapporteres for slike detaljer (detalj A i Figur 21) kun skyldes detaljens utforming (og ikke at etasjeskillerens areal ikke er med i beregning av transmisjonstapet). Et eksempel er en etasjeskiller i betong som trenger inn i en bindingsverksvegg. Her vil det være et ekstra varmetap på grunn av redusert isolasjonstykkelse på utsiden av etasjeskilleren.
- For etasjeskillere der det er forskjellig vegg over og under etasjeskilleren, vil hver av veggens areal beregnes inn til midten av etasjeskilleren, se detalj B i Figur 21.
- Som angitt i NS 3031 skal vindusarealet inkludere arealet av karm og ramme. Det blir da mest hensiktsmessig å inkludere mellomrommet mellom karm og losholt/stendere i veggens areal, slik som angitt i Figur 22. Kuldebroverdien vil da reflektere denne måten å regne på, dvs. man antar at veggens U-verdi gjelder helt inn til utvendig karmmål. Dette gjør det også enkelt å finne veggens areal. Merk at effekten av losholt og stendere rundt vinduer skal inngå i veggens U-verdi, og ikke i kuldebroverdien.

¹¹ NS 3031. Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data.

¹² Strengt tatt er dette noe forskjellig fra innvendige mål slik det definert i *NS-EN ISO 13789 Bygningers termiske egenskaper. Varmetapskoeffisient på grunn av varmegjennomgang. Beregningsmetode, Tillegg B*, men metoden er både mer hensiktsmessig og mer likt tradisjonell måte å regne energibruk i bygninger på.



Figur 21. Illustrasjon av en to-etasjes bygning med kjeller og av målene som benyttes ved beregning av kuldebroverdier. Disse målene må også samsvare med målene som benyttes ved beregning av arealene som inngår i beregning av transmisjonstapet i henhold til NS 3031.



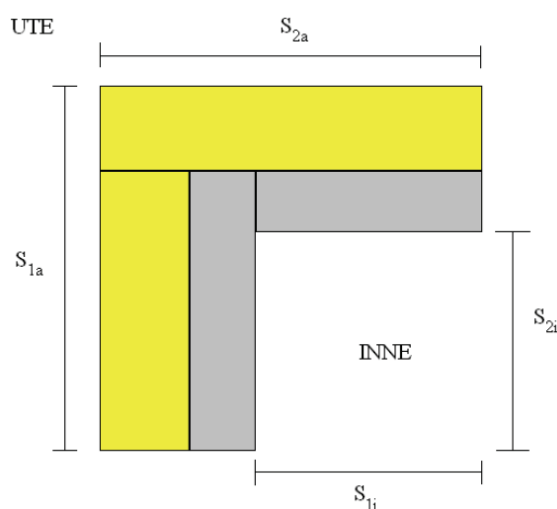
Figur 22. Illustrasjon av vindusdetalj, og arealer som benyttes til beregning av transmisjonstap og kuldebroverdi. Mellomrommet mellom karm og losholt/stendere i vegg legges til veggens areal. Vinduets areal beregnes ut fra utvendige karmmå.

Den norske standarden, som angir at innvendige mål (arealer) skal benyttes ved beregning av transmisjonstap, skiller seg fra den tyske metoden (og også fra flere andre lands metoder) der utvendige mål benyttes¹³. Forskjellen i kuldebroverdiene ved bruk av hhv. ytre og indre mål kan bli stor og det er derfor svært viktig at det påpekes hvilke mål som er benyttet.

Sammenhengen mellom kuldebroverdier funnet på basis av ytre og indre mål beskrives i følgende formel

$$\Psi_a = \Psi_i - U_1(s_{1a} - s_{1i}) - U_2(s_{2a} - s_{2i})$$

der indeks *a* angir utvendige mål og indeks *i* angir innvendige mål, som vist på Figur 23.



Figur 23. Illustrasjon av innvendige og utvendige mål¹⁴.

5.1 Konstruksjoner over bakken

Når kuldebroverdien skal beregnes vil beregningsmetodikken avhenge av hvilken konstruksjonsdel man studerer. Beregning av selve kuldebroverdien gjøres numerisk med et to eller tredimensjonalt varmebergningsprogram, slik som THERM, HEAT2 eller HEAT3. Følgende prosedyre benyttes

1. Varmestrømmen igjennom hele konstruksjonsutsnittet, komplett med alle detaljer, beregnes først. Minst 1 meter av de konstruksjonene som møtes ved kuldebroen (for eksempel vegger og etasjeskiller) taes med i beregningen. Hvis det er naturlige symmetrigrenser benyttes disse isteden som beregningsgrense (eks. hvis etasjehøyden er 2,4 m er det naturlig å ta 1,2 m av veggen med).
2. Varmestrømmene gjennom de tilsluttende konstruksjonene, trekkes fra hele konstruksjonens varmemestrøm, se likning på neste side og Figur 24.
3. Den resulterende varmemestrømmen deles på temperaturdifferansen over konstruksjonen.

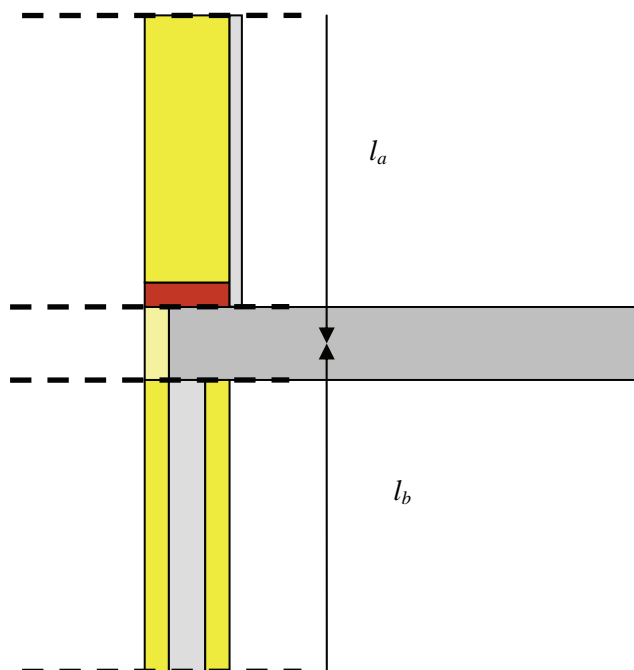
Uttrykt i en likning blir dette for en lineær kuldebro (NS-EN ISO 10211)

¹³ Feist, W. and Schnieders, J. 2004. Wärmebrückenfreies Konstruieren. CEPHEUS-Projektinformation Nr.6, 4. Auflage.

¹⁴ Grynning, S. 2007. Analyse av kuldebroproblematikk i flerfamiliehus. Prosjektoppgave, Institutt for Bygg, Anlegg og Transport, NTNU.

$$\Psi_k = L^{2D} - \sum_i U_i \cdot l_i$$

der L^{2D} (W/mK) er den lineære varmekoplingskoeffisienten oppnådd med en todimensjonal beregning av bygningsdelen som skiller de to aktuelle omgivelsene¹⁵. U_i er varmegjennomgangskoeffisientene (U-verdiene) til konstruksjonene som er tilsluttet kuldebroen (hver av veggene i Figur 24). Disse finnes ved å regne veggene hver for seg selv med adiabatisk grenseverdier der veggen møter etasjeskilleren (stiplede linje i Figur 24). l_i er lengden (høyden) av de tilsluttede konstruksjonene (l_a og l_b i Figur 24). Ψ_k er kuldebroverdien (lineær varmegjennomgangskoeffisient) for tilslutningsdetaljen, og rapporteres pr. meter kuldebro og pr. grad Kelvin, dvs. med enhet W/mK.



Figur 24. Illustrasjon av beregningsmåte for å finne kuldebroverdi for en tilslutningsdetalj. De stiplede linjene viser hvor det legges en adiabatisk grense ved beregning av veggens U-verdi hver for seg. Som angitt i NS-EN ISO 10211 så bør minst 1 m av veggen simuleres, alternativt velges et symmetriplan.

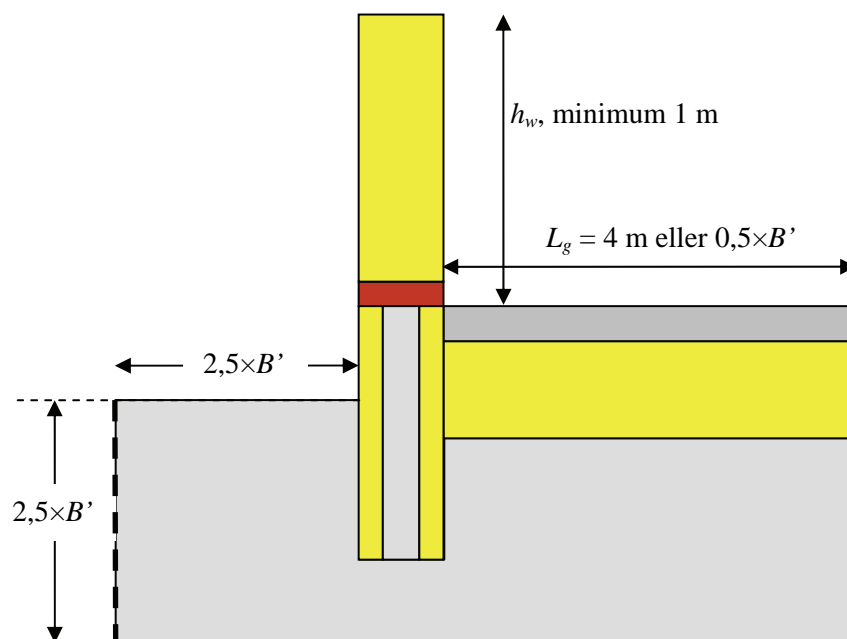
Tilsvarende metode benyttes for tilslutning mellom vinduer og vegg eller tak, men med de målene som er angitt i Figur 22. Det vil si, først beregnes varmetransporten gjennom hele konstruksjonen slik som detaljen er utført når vinduet er ferdig montert (inkludert fugemasse, bunnfyllingslist og isolasjon i mellomrommet mellom vinduskarm og vegg, med losholt/stender). Deretter regnes U-verdien til vinduet for seg selv, og tilsvarende regnes U-verdien til veggen for seg selv (uten fugemasse, bunnfyllingslist etc.) Likningen over benyttes så for å finne kuldebroverdien.

Merk at konduktiviteten til isolasjonslaget i en bindingsverksvegg må reflektere den treandelen som veggen inkluderer. Hvis noe av treverket inngår i beregningsmodellen, noe som er naturlig hvis man har en bunnsvill og/eller en toppsvill mot en etasjeskiller, må konduktiviteten til isolasjonslaget reflektere treandelen til veggen med unntak av treverket som er inkludert i modellen. På denne måten vil den numeriske U-verdien for veggen alene stemme med den U-verdien man finner ved beregning etter NS-EN ISO 6946 (forutsatt at man benytter hele veggens areal eller halve veggens areal og benytter en adiabatisk/symmetri grense). Tilsvarende beregningsmetode kan benyttes for konstruksjoner med tynnplateprofiler, se vedlegg A til denne rapporten.

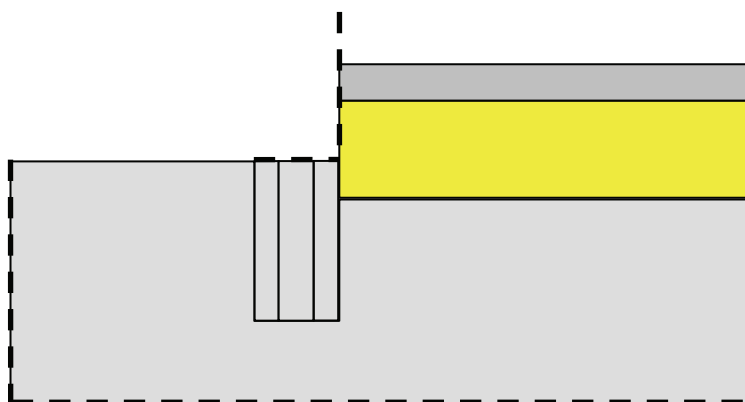
¹⁵ Hvis THERM er beregningsprogrammet som benyttes, vil gjennomsnittlig U-verdi for hele konstruksjonsutsnittet rapporteres direkte. L^{2D} finnes da ved å multiplisere U-verdien for hele konstruksjonen med lengden som U-verdien er beregnet for.

5.2 Konstruksjoner på grunnen og under grunnen

For konstruksjoner på grunnen benyttes beregningsprosedyrer som angitt i NS-EN ISO 13370 og ISO 10211. Metoden som benyttes til å finne kuldebroverdiene er basert på stasjonære beregningsprosedyrer. Prinsippet er illustrert i figurene nedenfor. Figur 25 viser beregningsmodellen for å finne samlet varmetap igjennom vegg, ringmur og golv på grunnen, inklusiv kuldebro der veggen, gulvet og ringmuren møtes (evt. markisolasjon skal taes med). Figur 26 viser beregningsmodellen som benyttes for å finne U-verdien til gulvet. Ringmuren inklusiv evt. kantisolasjon (og markisolasjon) skal ikke taes med her. Dvs. materialene under terrengnivå erstattes med jord og modellen får adiabatisk grenser der veggen var tidligere, se Figur 26. Effekten av kantisolasjon taes altså ikke med i beregningen av golvets U-verdi, men taes inn i kuldebroverdien, som vil bli mindre om man benytter kantisolasjon, enn om man ikke gjør det.



Figur 25. Illustrasjon av beregningsmodell for å finne kuldebroverdi for tilslutning mellom golv på grunnen, yttervegg og ringmur. Ved ukjent størrelse på bygningen settes B' lik 8 m, noe som medfører at 20 m av grunnen inkluderes i modellen.



Figur 26. Illustrasjon av beregningsmodell for å finne kuldebroverdi for tilslutning mellom golv på grunnen og yttervegg. Denne figuren angir hvordan golvets U-verdi (uten effekt av kantisolasjon) finnes. De stiplede linjene angir hvor adiabatisk grense benyttes. Beregningsmålene er de samme som angitt for Figur 25.

Ved fastsetting av dimensjonene til beregningsmodellen, dvs. hvor mye av bygningen og grunnen utenfor som skal inkluderes i modellen, benyttes parameteren $B' = A/(0,5 \times P)$, som er golvetts karakteristiske dimensjon. A er golvetts areal og P er omkretsen til golvet. I den todimensjonale beregningen skal den minste av 4 m eller $0,5 \times B'$ benyttes, se Figur 25. Hvis bygningens størrelse er ukjent benyttes 4 m. Tilsvarende skal $2,5 \times B'$ av grunnen inkluderes i modellen, både horisontalt ut fra veggen og vertikalt ned i bakken. 20 m benyttes ved ukjent bygningsstørrelse. Skal man studere overflatetemperaturer er det andre regler for hvor mye av grunnen som skal med i modellen, se ISO 10211. Høyden av den simulerte veggen bør tilsvare lengden til symmetri grensen for veggen, eller minimum 1 meter. For en 2,4 m høy vegg blir høyden til symmetriplanet 1,2 m.

Kuldebroverdien, Ψ_g , for tilslutningen mellom vegg, ringmur og golv beregnes da etter følgende likning:

$$\Psi_g = L_1^{2D} - h_w U_w - L_2^{2D}$$

der U_w er veggens U-verdi, h_w er høyden av den simulerte veggen, L_1^{2D} er varmekoplingskoeffisienten (enhet W/mK) for konstruksjonen i Figur 25 (dvs. med kuldebro) og L_2^{2D} er varmekoplingskoeffisienten for konstruksjonen i Figur 26 (dvs. golvet alene). L_2^{2D} inkluderer ikke effekten av ringmuren og evt. kantisolasjon.

Kuldebroverdien for tilslutningen mellom vegg, ringmur og golv kan også beregnes etter

$$\Psi_g = L_1^{2D} - h_w U_w - 0,5 \times B' U_g ,$$

der golvetts U-verdi, U_g , beregnes i henhold til NS-EN ISO 13370 (se ISO 10211). Denne likningen og metoden angitt i ligningen over (numerisk beregning av golvetts U-verdi) ser ut til å gi omtrent samme kuldebroverdi (forandring kun i tredje desimal) for golv på grunnen løsninger der golvisolasjonen ikke er spesielt tykk (ca 200-300 mm). Det ser imidlertid ut til at det kan være noe større forskjell mellom metodene hvis golvisolasjonen er forholdsvis dyp, noe den kan være ved bruk av løs Leca som isolasjon.

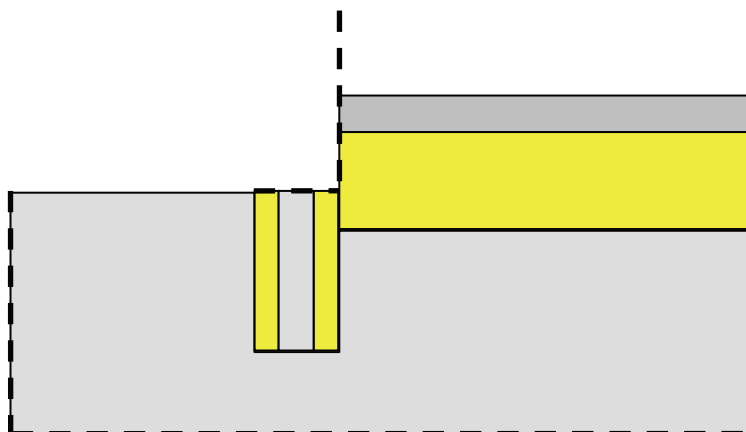
Effekten av kantisolasjonen kan finnes ved å regne ut varmetransporten til konstruksjonen vist i Figur 27 og sammenligne denne med varmetransporten igjennom konstruksjonen vist i Figur 26.

$$\Psi_{g,e} = L_3^{2D} - L_2^{2D}$$

der $\Psi_{g,e}$ er angir effekten av kantisolasjonen (og evt. markisolasjon) og L_3^{2D} er varmekoplingskoeffisienten (enhet W/mK) for konstruksjonen i Figur 27. $\Psi_{g,e}$ vil ha en negativ verdi da konstruksjonen med kantisolasjon har lavere varmetap enn konstruksjonen uten kantisolasjon. Dimensjonene for golvet og grunnen skal være det samme som angitt i Figur 25.

Det bemerkes at beregningsmetoden for å finne kuldebroverdien mellom vegg, golv og ringmur (metoden der adiabatisk grenser benyttes mot golv og grunn) er noe forskjellig fra det som har vært vanlig beregningsprosedyre tidligere ved SINTEF Byggforsk¹⁶. Tidligere ble varmetransporten igjennom komplett konstruksjon, som vist i Figur 25, beregnet først. Deretter regnet man varmetransporten for en konstruksjon slik som vist i Figur 28. Alle detaljene ved overgang mellom vegg og golv ble erstattet av isolasjon. Denne konstruksjonen ble brukt som referanse, og det ble antatt at denne konstruksjonen var uten kuldebro. Denne metoden er imidlertid ikke i henhold til standard, og SINTEF Byggforsk velger nå å heller regne etter metoden angitt over.

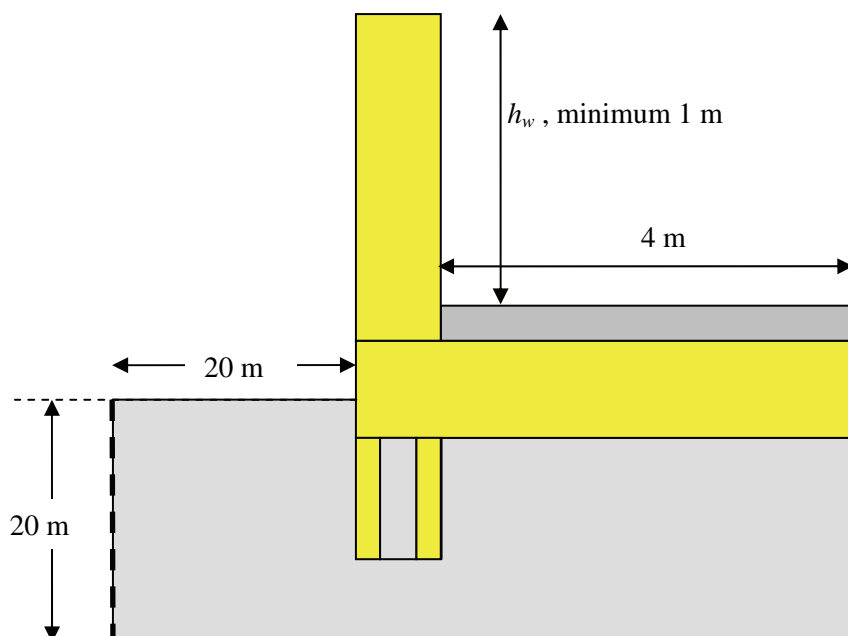
¹⁶ Gammel metode er beskrevet i tidligere versjon av BKS 521.112. Golv på grunnen med ringmur for oppvarmede bygninger. Varmeisolering og frostsikring.



Figur 27. Illustrasjon av beregningsmodell for å finne effekten av kantisolasjonen. Golv, isolasjon og ringmursløsning under bakkeplan beholdes mens vegg og ringmur over terreng ikke tæes med. De stiplede linjene angir hvor adiabatisk grense benyttes. Beregningsmålene er de samme som angitt for Figur 25.

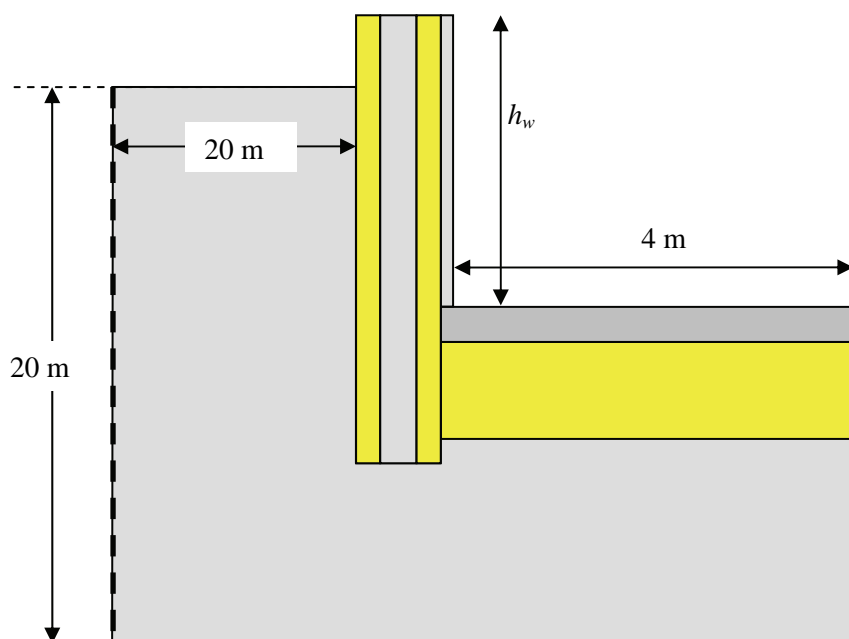
Med den nye metoden vil en få noe større kuldebroverdier for ringmursløsninger enn hva man fikk med den gamle metoden. Årsaken til dette er at den gamle måten ikke tar hensyn til geometriske kuldebroer på den samme måten som den nye metoden.

For tilslutning mellom konstruksjoner under bakken må en litt annen metode benyttes, da det å benytte en adiabatisk grense midt inne i beregningsområdet ikke er mulig for de fleste beregningsprogrammene. Metoden er illustrert nedenfor. Figur 29 viser komplett konstruksjon og Figur 30 viser referansekonstruksjonen. For referansekonstruksjonen erstattes materialene i overgang vegg/golv med et materiale med en konduktivitet på 0 W/mK ¹⁷. Differansen mellom varmetransporten for komplett konstruksjon og referansekonstruksjonen vil da tilsvare kuldebroverdien

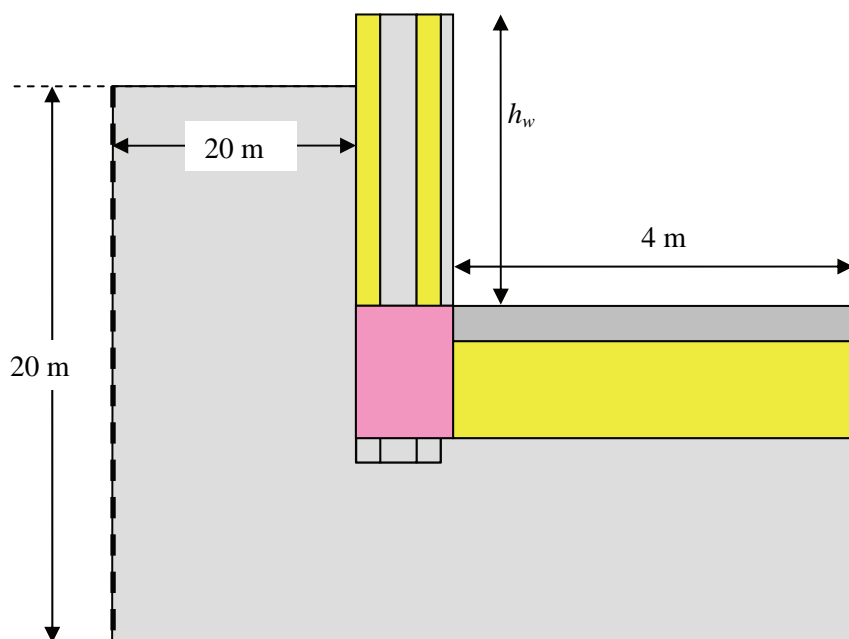


Figur 28. Illustrasjon av beregningsmodell for å finne varmetapet for kuldebrofri konstruksjon etter gammel metode.

¹⁷ I praksis vil/kan det være vanskelig å benytte en konduktivitet på 0 W/mK midt i beregningsområdet for konstruksjonen. Da kan man heller benytte en fast lav varmekonduktivitet, for eksempel $\lambda=0,0001 \text{ W/mK}$.



Figur 29. Illustrasjon av beregningsmodell for å finne varmetapet for kuldebro ved tilslutning mellom kjellergolv og kjellervegg. Figuren viser komplett konstruksjon.



Figur 30. Illustrasjon av beregningsmodell for å finne varmetapet for kuldebro ved tilslutning mellom kjellergolv og kjellervegg. Figuren viser referansekonstruksjonen. Det rosa materialet angir et materiale med konduktiviteten 0 W/mK .

Som nevnt i kap. 2.2, skal alle kuldebroene betraktes samlet og omregnes til en normalisert kuldebroverdi. Dette er ikke uproblematisk for kuldebroer mot bakken. Årsaken er at varmetapet fra konstruksjoner mot grunnen er faseforskjøvet i forhold til varmetap fra konstruksjoner over grunnen. I den nye NS 3031 er det tatt hensyn til dette, med egne formler for varmetap fra gulv mot grunnen og kjellervegger. Faseforskyvningen har betydning for den totale energibruken, blant annet fordi

utnyttbar andel av energitilskudd fra sol og installasjoner er avhengig av det til enhver tid aktuelle varmetapet. Denne situasjonen kan løses på følgende måte:

- 1) Kuldebroverdien for konstruksjoner mot grunnen beregnes slik som vist i dette kapitlet.
- 2) Ved kontroll av energiltak (§ 8-21 punkt a i TEK 2007), beregnes en normalisert kuldebroverdi på vanlig måte, dvs. at effekten av faseforskyvning neglisjeres. U-verdier for gulv mot grunnen beregnes uten å inkludere kuldebroer.
- 3) Ved kontroll i forhold til samlet netto energibehov (§ 8-21 punkt b i TEK 2007) ved tidsavhengige beregninger bør derimot kuldebroverdien i overgangen gulv på grunn og vegg (for konstruksjoner under bakken) trekkes inn i U-verdien for gulvet. Resten av kuldebroverdiene kan betraktes samlet.

Det henvises ellers til ISO 10211, som også har metoder for beregning for kuldebroverdier for tilslutning mellom vegg og gulv over kryperom.

5.3 Grensebetingelser

Ved beregningene benyttes det vanligvis en utetemperatur på 0 °C og en innetemperatur på 20 °C. Ifølge ISO 10211 skal videre overgangsmotstander som angitt i ISO 6946 benyttes, dvs. variasjon med varmestrømsretning må taes hensyn til. Ved vurdering av overflatekondens skal overgangsmotstander i henhold til ISO 13788 benyttes.

5.4 Materialdata

Ved beregning av konstruksjoners varmegjennomgang er det viktig å benytte relevant varmeledningsevne til materialene (varmekonduktivitet).

I beregningene som er utført i dette prosjektet er materialdataene hovedsakelig hentet fra standarden *NS-EN ISO 10456:2007 Byggematerialer og -produkter - Hygrotermiske egenskaper - Tabulerte dimensjonerende verdier og prosedyrer for bestemmelse av deklarererte og praktiske termiske verdier*. Denne standarden inneholder densitet, varmekonduktivitet, spesifikk varmekapasitet og diffusjonsmotstand for en del materialer. Der verdier ikke ble funnet i denne standarden ble BKS 471.010 benyttet. Nedenfor er varmekonduktiviteten for de mest benyttede materialene listet opp (varmekapasiteten er ikke tatt med siden beregningene gjennomført her ikke var transiente).

Tabellen viser at konduktiviteten for betong kan variere mye. I tillegg finnes det også andre verdier. Og i praksis kan det være vanskelig å vurdere hvilken konduktivitet man skal benytte for betong. I denne rapporten er det benyttet "betong med stål" når det gjelder etasjeskillere og andre konstruksjoner der det er naturlig at stålet ligger i varmestrømsretningen. Ellers er verdien 1,65 W/mK benyttet. (I neste kapittel er det vist hva konduktiviteten for betong har å si for kuldebroverdien for noen konstruksjoner.)

Tabell 4. Varmekonduktivitet for noen materialer.

Materiale	Densitet [kg/m ³]	Konduktivitet [W/Km]
Aluminiumslegeringer	2800	160
Betong	2200	1,65
Betong (armert med 1% stål)	2300	2,3
Gipsplate ¹	900	0,25
Isolasjon (også brannisolasjon) ²		0,037
Jord (sand og grus)	1700-2200	2,0
Laftestrimmel for Leca Isoblokk		0,039
Lettklinker, standard byggeplank ³		0,23
Lettklinker, i Leca Isoblokk ³		0,27
Mangehullstein (108 mm), tegl ^{4,5}		0,675
Mørtel puss, på Leca Isoblokk		1,0
Polyuretanskum i Leca Isoblokk ³		0,024
Porebetong, elementer og blokker (fuktbeskyttet) ⁴		0,13
Sponplate	600	0,14
Trevirke (gran, furu)	500	0,13
Trevirke (bøk, eik)	800	0,18

¹. Varmekonduktiviteten omfatter effekten av papirsjiktene.

². Merk at isolasjonsprodukter ofte har en konduktivitet som varierer fra produkt til produkt (isolasjonsklasse). Her er det for enkelhets skyld antatt samme konduktivitet for alle isolasjonsmaterialer. (Eks. konduktiviteten til brannisolasjon av mineralull kan variere fra 0,034 til 0,039 W/mK.)

³. Maxit.

⁴. BKS 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer.

⁵. Regnet om fra R=0.16 m²K/W.

6 Kuldebroverdier

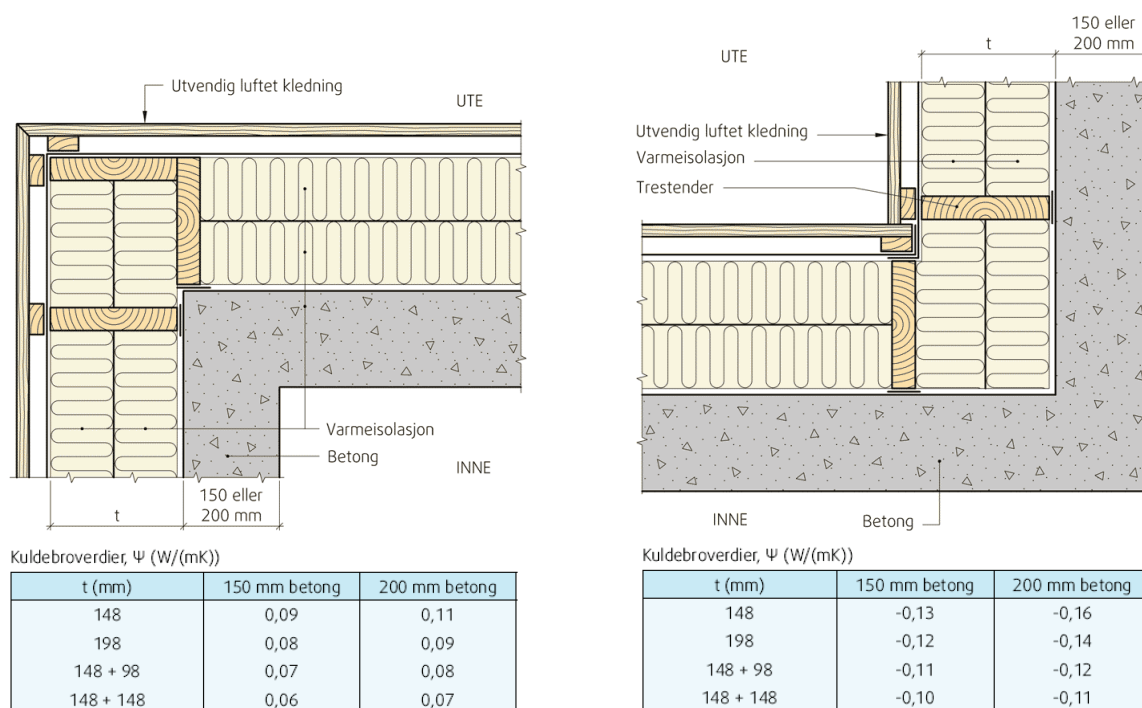
Konstruksjonene det er regnet kuldebroverdier for i dette prosjektet finnes hovedsakelig i Vedlegg B, der hver konstruksjon er beskrevet i et eget DataArk. I dataarket beskrives forutsetningene som er gjort for hver enkelt konstruksjon, mht. konstruksjonsoppbygging og beregning. Det er ofte regnet på flere varianter av hver konstruksjon. I noen av dataarkene er det også angitt varianter som det ikke er regnet på i dette prosjektet, men som en kan regne på senere (dette vises som manglende tall i tabellene). Tanken er at dataarkene kan legges ut på en nettside (gjærne i en database) slik at et dynamisk KuldebroAtlas genereres. En første versjon av et slikt kuldebroatlas er demonstrert på adressen <http://tjenester.byggforsk.no/prosjekter/kuldebro/KuldebroAtlas/KuldebroAtlas.htm>, med brukernavn kuldebro og passord KBro2007. Men dette bør utvikles videre, gjærne som en del av Byggforsk kunnskapsystemer.

Vedleggene B og C viser kuldebroverdier for forskjellige konstruksjoner. Nedenfor er noen av resultatene kommentert, og noen hovedkonklusjoner trukket fram. Merk at noen beregningsresultater kun er presentert i dette kapittelet, og ikke i vedleggene.

Det er generelt valgt å rapportere kuldebroverdiene med 2 desimaler. Der finnes imidlertid noen få unntak. Disse kommer av at det noen steder ble gjort noen små variasjoner i geometri og materialegenskaper, og at det her var ønskelig å se om dette gjorde noe utslag i kuldebroverdien.

6.1 Kuldebrofri konstruksjon, finnes det?

Det hevdes i forskjellige sammenhenger at forskjellige konstruksjoner er kuldebrofrie. I de fleste tilfeller er nok dette ikke helt sant. Konstruksjonene kan ha lave kuldebroverdier, men de fører så og si alltid til et ekstra varmetap. De fleste tilslutningsdetaljer vil, ved bruk av innvendige mål for å regne transmisjonstapet, medføre et ekstra varmetap. Ett unntak er innadgående hjørner, se Figur 31. Denne figuren viser et eksempel på en konstruksjon med negativ kuldebroverdi. Dvs. for det innadgående hjørnet (figuren til høyre) er det negative kuldebroverdier. For det utadgående hjørnet er det positive

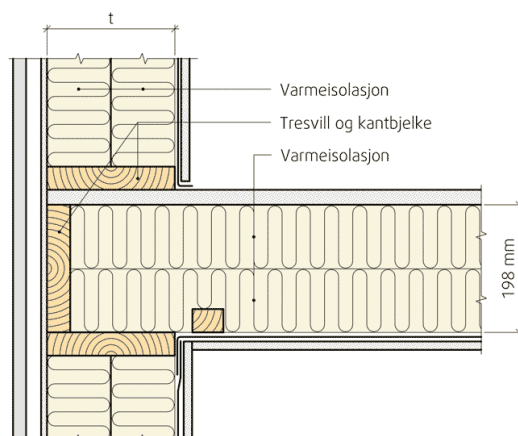


Figur 31. Utadgående hjørne og innadgående hjørne for utvendig isolert betongvegg, med kuldebroverdi.

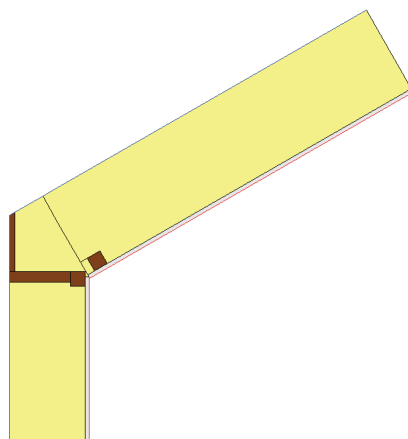
verdier, dvs. denne detaljen fører til et ekstra varmetap. I enkelte land benytter man utvendige mål til beregning av transmisjonstap (slik som for eksempel i Tyskland¹⁸). Da vil flere detaljer kunne resultere i kuldebroverdier som er 0 eller mindre enn null.

Også andre overganger mellom bygningsdeler enn hjørner kan ha tilnærmet 0 W/mK som kuldebroverdi. Dette gjelder spesielt lette konstruksjoner. Et eksempel på en slik konstruksjon er vist i Figur 32, som er en etasjeskiller i tre mot en bindingsverksvegg. Denne konstruksjonen vil ha ca. 0 W/mK som kuldebroverdi, selv om man varierer veggtykkelsen og isolasjonstykkelsen mellom 98 til 296 mm. Merk at dette er for konstruksjonen slik den er vist i figuren. Hvis det gjøres spesielle tilpasninger som øker tremengden ved etasjeskilleren, eller hvis andre materialer introduseres nært etasjeskilleren vil kuldebroverdien fort kunne bli større enn 0.

For overgang mellom vegg og isolert takflate, vil kuldebroverdien blir større enn 0, selv om det er mye isolasjon i tak og vegg. Et eksempel på en slik konstruksjon er vist i Figur 33. Her er det mye isolasjon og lite treverk ved overgangen mellom veggen og taket, men kuldebroverdien blir likevel større enn 0. Årsaken til dette er at det er en vinkel mellom taket og veggen som vil utgjøre en geometrisk kuldebro. Med en isolasjonstykkelse i vegg og tak på henholdsvis 250 og 350 mm vil kuldebroverdien bli henholdsvis 0,019 og 0,016 W/mK for takvinkler på henholdsvis 30 og 40°. Jo brattere taket blir jo lavere blir kuldebroverdien.



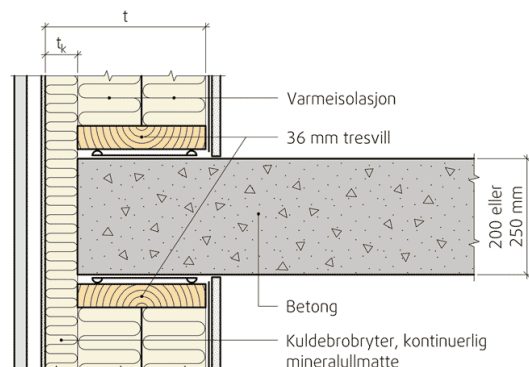
Figur 32. Yttervegg av bindingsverk av tre mot etasjeskiller av trebjelkelag. Kuldebroverdien for denne konstruksjonen vil være tilnærmet 0 W/mK for vegger med isolasjonstykkelser på 98–296 mm.



Figur 33. Illustrasjon av tilslutning mellom bindingsverksvegg og sperretak. Kuldebroverdien her vil være større enn 0, og vil avhenge av takvinkel og isolasjonstykkelse.

¹⁸ Passiv Haus Institut i Tyskland definerer en kuldebrofri konstruksjon som en konstruksjon der transmisjonstapet beregnet med konvensjonell U-verdimetode etter utvendige mål er større enn det faktisk numerisk beregnede transmisjonstapet, vil konstruksjonen være kuldebrofri⁴.

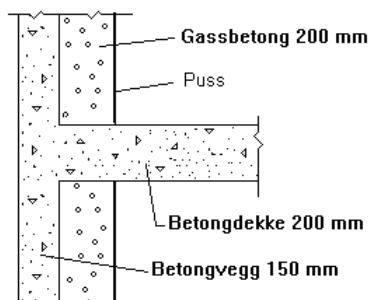
I enkelte sammenhenger blir det uttalt at hvis man etterisolerer en yttervegg utvendig med mer enn 50 mm med isolasjon så vil denne konstruksjonen være å betrakte som tilnærmet kuldebrofri. Figur 34 viser yttervegg av bindingsverk mot etasjeskiller av betong med utvendig kontinuerlig tilleggsisolasjon. For denne konstruksjonen ser vi at 50 mm ekstra isolasjon på yttersiden, reduserer kuldebroverdien, men at verdien fortsatt er større enn 0. For total isolasjonstykkelse på 198 mm, og for en etasjeskiller på 250 mm reduseres kuldebroverdien fra 0,12 til 0,04 W/mK hvis 100 mm isolasjon ligger utenfor etasjeskilleren isteden for 50 mm. Tilsvarende kuldebroverdier ved en veggtykkelse på 248 mm er 0,14 til 0,06 W/m²K, for henholdsvis 50 og 100 mm isolasjon utenfor kuldebroen.


 Kuldebroverdier, Ψ (W/(mK))

t mm	t_k mm	Dekketykkelse	
		200 mm	250 mm
148	50	0,09	0,10
198	50	0,11	0,12
198	100	0,04	0,04
248	50	0,12	0,14
248	100	0,05	0,06
298	100	0,06	0,07

Figur 34. Kuldebroverdi for yttervegg av bindingsverk av tre mot etasjeskiller av betong og utvendig kontinuerlig tilleggsisolasjon.

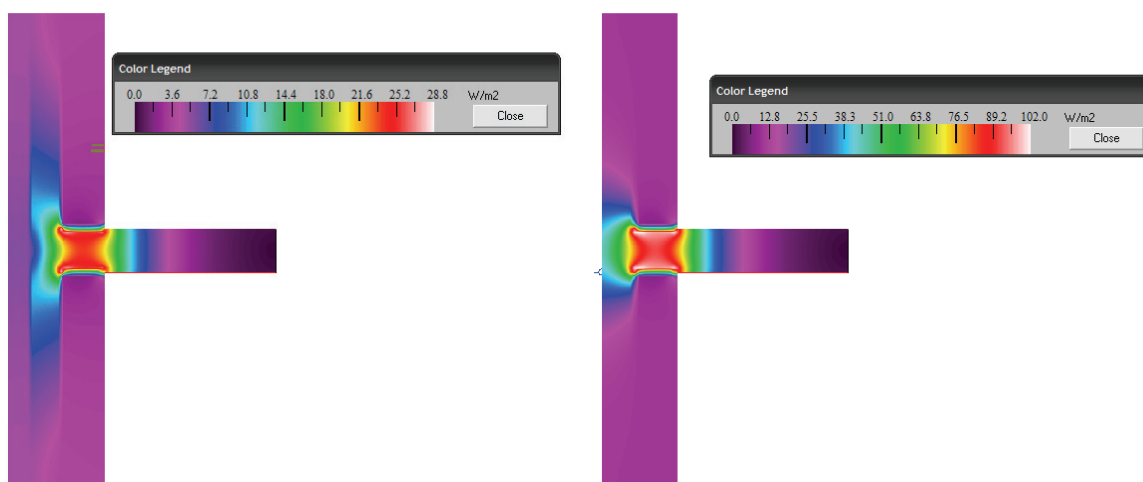
Figur 35 viser en litt eldre konstruksjonstype av betong som er isolert innvendig med gassbetong. Etasjeskilleren går rett igjennom gassbetongen, og utgjør derfor en kraftig kuldebro. Figuren viser at selv med 150 mm etterisolering utvendig for betongen vil kuldebroverdien være 0,05 W/mK. Tabellen viser likevel at 50 mm isolasjon reduserer kuldebroverdien betraktelig i forhold til at det ikke er noe utvendig isolasjon i det hele tatt. Dette illustreres også godt i Figur 36, som viser varmestrømstettheten til de to tilfellene med 100 mm etterisolering (til venstre) og uten isolasjon (til høyre).


 Kuldebroverdier, Ψ (W/(mK))

Tykkelse utvendig isolasjon, mm	W/(mK)
0	0,79
50	0,19
75	0,12
100	0,09
150	0,05

Figur 35. Kuldebroverdi for betongvegg innvendig isolert med gassbetong. Etasjeskilleren i betong går rett igjennom gassbetongen. Tabellen viser kuldebroverdien for forskjellige tykkelser på utvendig isolasjon (ikke vist i figuren) med varmekonduktivitet på 0,037 W/mK. Det er antatt en konduktivitet på 2,3 W/mK for betongen.

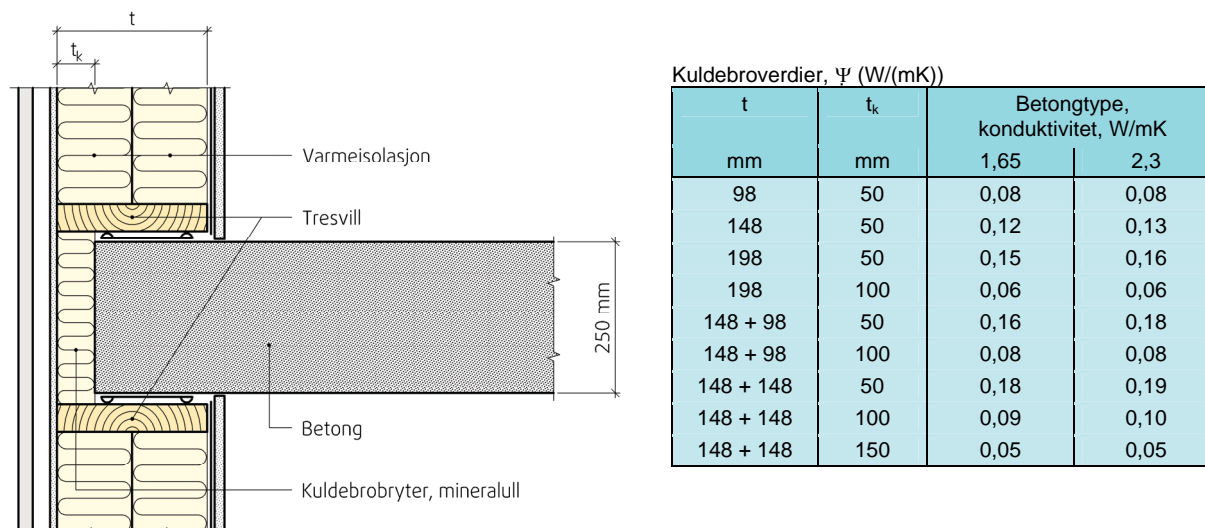
Alle disse overgangene vil likevel være kuldebroer, i den forstand at utvendige og innvendige arealer er forskjellige, eller at isolasjon gjennomtrenges av et materiale med høyere konduktivitet, se definisjonen i kapittel 2. Kuldebroverdien vil innebære en korreksjon i transmisjonstapet, for å kompensere for utilstrekkeligheten i den endimensjonale tilpasningen som bruk av U-verdier for hver bygningsdel innebærer.



Figur 36. Fargeplott av varmestrømstettheten igjennom konstruksjon med henholdsvis 100 mm utvendig isolasjon (til venstre) og uten utvendig isolasjon.

6.2 Effekt av betongens konduktivitet på kuldebroverdi

Betongens konduktivitet kan variere en god del med stålandelen som er støpt inn i betongen. Ifølge NS-EN 12524 kan betongens konduktivitet variere fra 1,15 W/mK for betong med densitet 1800 kg/m³ til 2,5 W/mK for betong som er armert med 2 % stål og har densitet 2400 kg/m³. Nedenfor er kuldebroverdien sammenlignet for to forskjellige betongtyper for yttervegg av bindingsverk mot etasjeskiller av betong. Etasjeskilleren er 250 mm høy og isolasjonstykkelse i vegg og tykkelse på kuldebryteren er variert. Tabellen viser at det ikke er stor forskjell i kuldebroverdi på de to betongtypene. Kuldebroverdiene har maksimalt en forskjell på 0,02 W/mK, men forskjellen er ofte mindre. Små forskjeller er også observert for flere andre konstruksjonstyper.

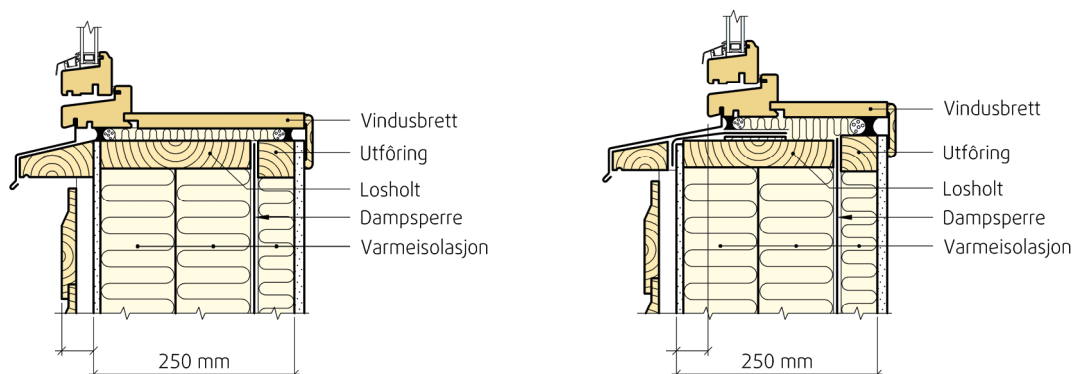


Figur 37. Kuldebroverdi for yttervegg av bindingsverk av tre mot etasjeskiller av betong. Konduktiviteten til betong er variert fra 1,65 til 2,3 W/mK.

6.3 Vindusinnsetting

Figuren til venstre nedenfor viser et vindu i flukt med ytre kledning, mens figuren til høyre viser et inntrukket vindu. Fra et fuktteknisk synspunkt blir ofte løsningen til venstre foretrukket, siden evt. vann som kommer inn i vinduet eller inn under karm lettere kan føres ut av veggen enn for løsningen

til høyre, der det er lettere for at vannet trenger inn i veggen (hvis beslag/detaljering ikke er utført riktig). De forskjellige monteringsmåtene vil gi forskjellig kuldebroverdi, siden varmen vil finne forskjellige veier igjennom veggen, avhengig av vindusplassering. Tabell 5 viser kuldebroverdien for ulike plasseringer for et trevindu. Som tabellen viser vil kuldebroverdien være minst, 0,01 W/mK, når vinduet er trukket noe inn i veggen (ca 35 mm for denne konstruksjonen). Kuldebroverdien er størst hvis vinduet plasseres lang ut i veggen, men øker også fra 0,01 W/mK hvis vinduet plasseres innenfor 35 mm.



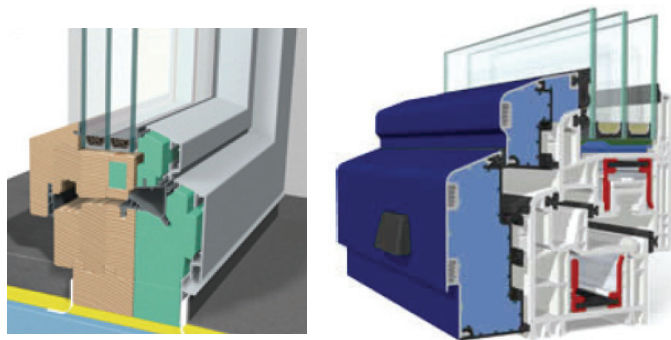
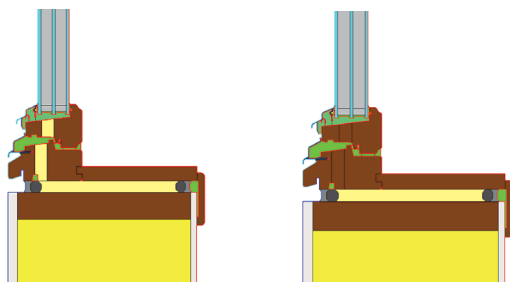
Figur 38. Illustrasjon av forskjellige plasseringer av vindu i vegg. Til venstre er et vindu i flukt med ytre kledning, mens figuren til høyre viser et inntrukket vindu. Dybden på karm for dette vinduet er 92 mm.

Tabell 5. Tabellen viser kuldebroverdi for forskjellige vindusplasseringer i en vegg med 148 + 98 mm isolasjon.

Avstand fra utsiden av vindsperran (gipsplate) til utvendig kant av vinduskarm	Kuldebroverdi, Ψ (W/(mK))
-42 (vinduet stikker ut)	0,05
0	0,02
35	0,01
85	0,02
140	0,03

Med optimal plassering av vinduet vil kuldebroverdien være 0,01 W/mK. Dette kan virke som en liten verdi, men i praksis vil kuldebrobidraget for alle vinduene i et hus kunne bli ganske stort. Dette vil også vises nedenfor i kapittel 7.2, der normalisert kuldebroverdi er regnet ut for en bolig.

Ved innføring av nye byggeforskrifter i 2007 ble det innført nye og strengere U-verdikrav til vinduer. På grunn av dette vil det komme flere vinduer som har isolert karm og ramme, slik som illustrert i Figur 39. Det ble derfor også gjennomført beregninger for å sjekke effekten på kuldebroverdien av et sjikt med isolerende materiale (polyuretan med varmeledningsevne på 0,03 W/mK) i en vinduskarm/ramme av tre. For å gjennomføre en slik sammenligning ble et vindu med isolert karm/ramme simulert (montert i en bindingsverksvegg), og sammenlignet med resultatet for et vindu med tilsvarende karm/ramme, men der det isolerende materialet var erstattet av tre, se nedenfor. Dvs. resultatene for disse vinduene vil kunne være noe forskjellig fra resultatene for vinduet vist i Figur 38, da vinduet i denne figuren har en noe annen oppbygging (dimensjon og geometri). Men de to vinduene som sammenlignes nedenfor er identiske, med unntak isolasjonen i karm/rammen. Tre desimaler er tatt med for å få fram forskjellen i kuldebroverdi. Figuren viser at kuldebroverdien er noe større for et vindu med isolert karm/ramme enn for et vindu uten denne typen karm/ramme. Dybden på karmen til disse vinduene er 105 mm. Dybden på karmen til vinduet vist i Figur 38 er 92 mm. Man kan derfor ikke trekke en generell konklusjon om at jo bedre en karm/ramme isolerer jo høyere er kuldebroverdien. Høyden og utformingen/geometrien på vinduet (inkludert karm/ramme) har også en del å si. Likevel, for de vinduene som er studert her, er ikke variasjonen så veldig stor (det er en variasjon innen ca. 0,01 W/mK).


 Figur 39. Eksempler på isolert vinduskarm/ramme¹⁹.

 Kuldebroverdi, Ψ (W/(mK))

Avstand fra utsiden av vindsperren (gipsplate) til utvendig kant av vinduskarmen mm	Vindustype	
	Isolert	Ikke isolert
-42 (vinduet stikker ut)	0,042	0,035
0	0,012	0,007
35	0,008	0,003

Figur 40. Kuldebroverdi for trevindu med og uten isolert karm/ramme.

6.4 Betongsøyler

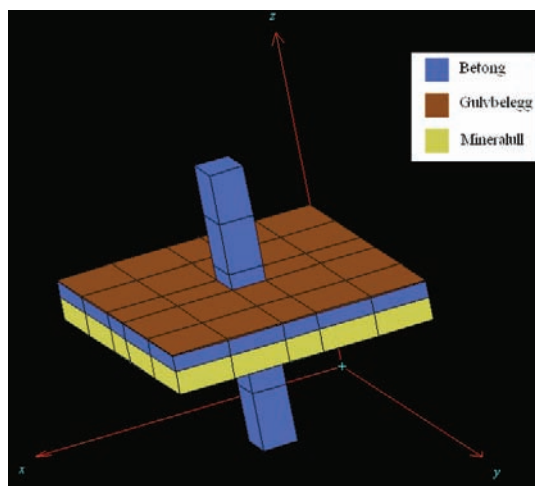
For noen konstruksjonsdetaljer kan det være vanskelig å isolere konstruksjonen slik at det ikke er gjennomgående materiale med høy konduktivitet (eks. stål eller betong). Et eksempel på en slik konstruksjon kan være søyler i for eksempel arkader. Et eksempel på søyle er vist i Figur 41. En søyle er en punkformet kuldebro, og kuldebroverdien vil derfor ha enheten W/K.


 Figur 41. Eksempel på søyler¹⁴.

I tilknytning til dette prosjektet regnet Grynning¹⁴ på kvadratiske søyler med programmet HEAT3, som er et beregningsprogram for tredimensjonal varmestrøm. En modell av geometrien er vist i Figur 42. Konstruksjonsdetaljen er tenkt bygd opp som en kontinuerlig søyle ført gjennom et utvendig isolert dekke. Dekket og søylen vil således utgjøre en sammenhengende betongkonstruksjon. Betongdekket er utført som et 200 mm tykt dekke av betong med konduktivitet lik 1,65 W/mK. Det er benyttet samme konduktivitet for betongen i søylen. Tykkelsen på betongdekket holdes konstant for samtlige tilfeller, dvs. for forskjellige isolasjonstykkelser og søyledimensjoner. Gulvbelegg er lagt på

¹⁹ Gustavsen, A., Jelle1, B.P., Arasteh, D., and Kohler C. 2007. State-of-the-Art Highly Insulating Window Frames – Research and Market Review. Prosjekt rapport, SINTEF Byggforsk.

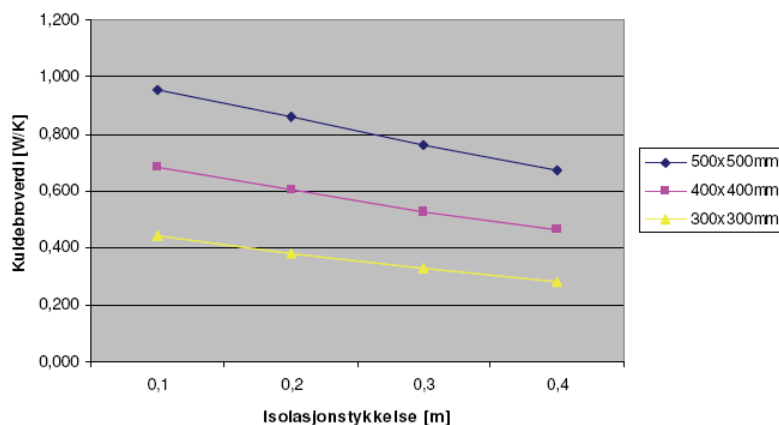
betongen som et materiale med varmekonduktivitet på $0,13 \text{ W/mK}$. Tykkelsen på sjiktet er satt til 20mm, noe som gir en total varmemotstand for sjiktet på $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$. Dette er en verdi som er i samme størrelsesorden som for eksempel 14 mm parkett på parkettunderlag. Utvendig isolasjon er gitt egenskaper tilsvarende mineralull med konduktivitet på $0,038 \text{ W/mK}$. Det er da tatt hensyn til festemidler for isolasjonen. På utsiden av isolasjonen, altså på undersiden av konstruksjonen og langs søylen som er på undersiden av dekket, er det forutsatt uteklime. På oversiden av gulvbelegget og oppover langs søylen i z-retning er det inneklime. Betongsøylen er antatt å være massiv, dvs. det er ikke antatt at den er overflatebehandlet eller isolert.



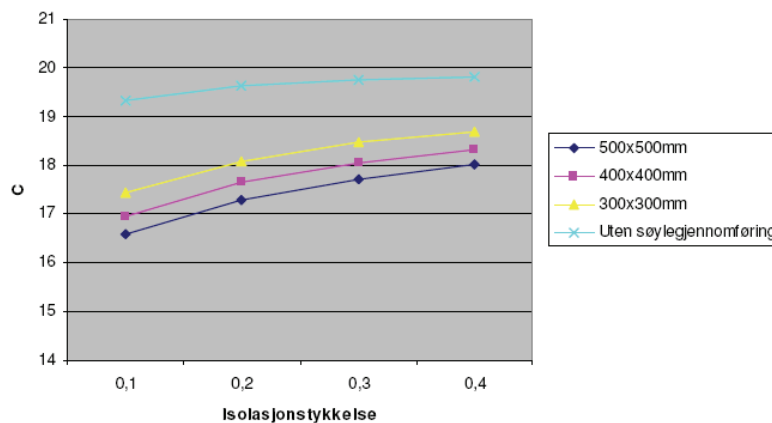
Figur 42. Beregningsmodell for tredimensjonal søyle¹⁴.

Figur 43 viser de beregnede kuldebroverdiene for samtlige søyler og isolasjonstykkelser. Det er valgt å ta med isolasjonstykkelser helt fra 100 mm, selv om dette gir en U-verdi for gulvet som ligger under dagens forskriftskrav. Disse er tatt med for å få et mer helhetlig bilde av hvordan kuldebroverdien varierer med isolasjonstykkelse. Økes isolasjonstykkelsen med 100 mm synker kuldebroverdien med 11-12 % for søylene med 400 x 400mm og 500 x 500 mm i tverrsnittsmål. For søylen med de minste målene, altså 300 x 300 mm, synker verdien med 14 %.

Figur 44 viser overflatetemperaturen i overgangen mellom dekke og søyle. Vi ser at temperaturen følger en ikke-lineær utvikling. Effekten av økt isolasjonstykkelse gir størst resultat ved lave isolasjonstykkelser. Til sammenligning er golvtemperaturen plottet hvis det ikke er en gjennomgående søyle.



Figur 43. Punktkuldebroverdier for kvadratiske søyler plottet mot ulike isolasjonstykkelser for gulvet¹⁴.

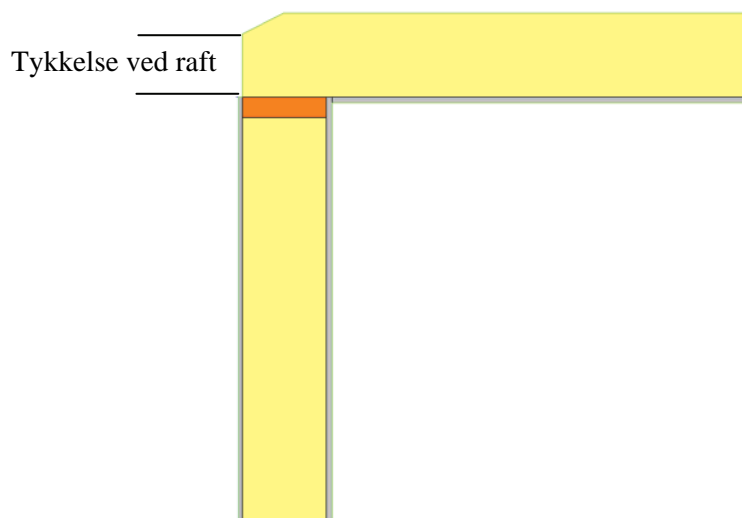


Figur 44. Minimumstemperaturer i overgangen mellom dekke og søyle¹⁴. Innetemperaturen var 20 °C og utetemperaturen var 0 °C i beregningene.

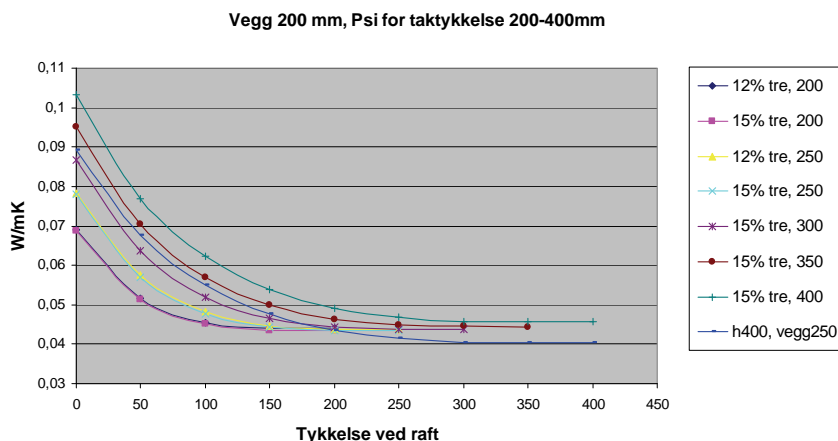
6.5 Overgang vegg og tak

Kuldebroverdier er angitt for forskjellige takkonstruksjoner i Vedlegg B. Her studeres takløsningen i Figur 45 litt nærmere, for å se effekten av vegg- og takisolasjon og tykkelsen av isolasjonen ved raft. Det er regnet med 8 % treandel for taket, mens treandelen for veggen blir variert for noen konstruksjoner. Takvinkelen er antatt lik 27° for alle beregningene. Resultatene er vist i Figur 46, Figur 47 og Figur 48. Tykkelse ved raft (isolasjonshøyde over overkant toppsvill), som er framstilt på den horisontale aksene, er variert fra 0 til isolasjonstykkelsen i taket (200-500 mm). Kuldebroverdien er vist på den vertikale aksene.

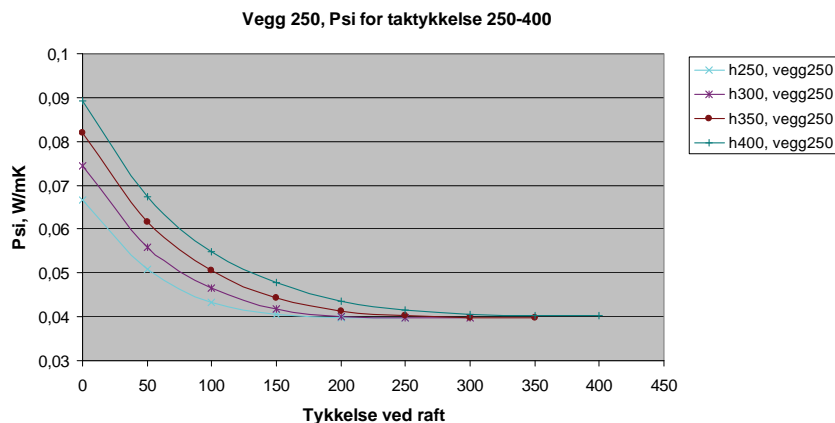
Figur 46 viser resultatene for konstruksjonene med veggtykkelse lik 200 mm. Treandel er variert for noen av konstruksjonene. Den nederste linjen, "h400, vegg250" er tatt med for lettere å sammenligne resultatene mot kuldebroverdien for en vegg med isolasjonstykkelse 250. Figuren viser at for alle variantene (med unntak av veggen med 250 mm isolasjon) avtar kuldebroverdiene asymptotisk mot ca. 0,045 W/mK, med økende isolasjonshøyde ved raft. Dette gjelder uavhengig av isolasjonsmengde i tak. Figurene viser også at treandelen, 12 eller 15 %, har minimal innvirkning på kuldebroverdien. Kuldebroverdiene er ellers lavere for konstruksjoner med lite isolasjon i taket enn for mye isolasjon. Figur 47 og Figur 48 viser tilsvarende resultater for konstruksjoner der veggtykkelsen er holdt fast lik henholdsvis 250 mm og 300 mm. Her avtar kuldebroverdiene asymptotisk mot henholdsvis 0,04 W/mK og 0,038 W/mK.



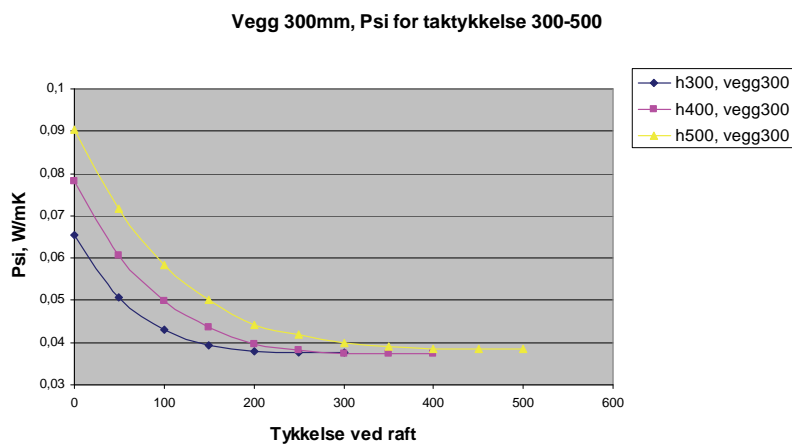
Figur 45. Illustrasjon av konstruksjon, overgang vegg/tak.



Figur 46. Kuldebroverdi som funksjon av isolasjonstykkelse i tak og tykkelse på isolasjon ved raft (isolasjonshøyde over overkant toppsvill). Isolasjonstykkelsen i vegg er konstant lik 200 mm. Takvinkel er lik 27° og treandel for vegg er variert for noen av konstruksjonene. (Den nederste linjen, "h400, vegg250" er tatt med for lettere å sammenligne resultatene mot kuldebroverdien for en vegg med isolasjonstykkelse 250.)



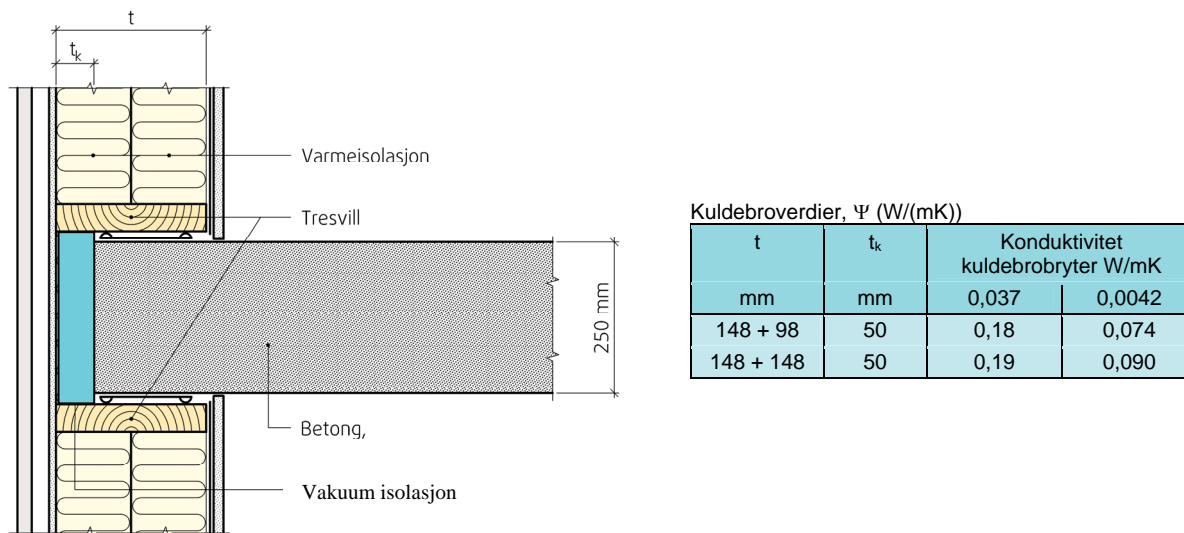
Figur 47. Kuldebroverdi som funksjon av isolasjonstykkelse i tak og tykkelse på isolasjon ved raft (isolasjonshøyde over overkant toppsvill). Isolasjonstykkelsen i vegg er konstant lik 250 mm. Takvinkel er lik 27° og treandel for vegg er lik 15 %.



Figur 48. Kuldebroverdi som funksjon av isolasjonstykkelse i tak og tykkelse på isolasjon ved raft (isolasjonshøyde over overkant toppsvill). Isolasjonstykkelsen i vegg er konstant lik 250 mm. Takvinkel er lik 27° og treandel for vegg er lik 15 %.

6.6 Bruk av nye isolasjonsmaterialer

Internasjonalt har det blitt forsket en del på nye isolasjonsmaterialer^{20, 21, 22}. Vakuuminolasjon er et eksempel på et slikt materiale. Varmeledningsevnen til et produkt kan være ca. 10 % av varmeledningsevnen for tradisjonell isolasjon. Et av bruksområdene til slike materialer kan være som kuldebryter, selv om dette også kan være problematisk ut ifra en vurdering av materialenes robusthet. Nedenfor er det likevel vurdert hva bruk av vakuuminolasjon kan ha å si for kuldebroverdien for en etasjeskiller som trenger ut i isolasjonen i en bindingsverksvegg. Figuren viser at kuldebroverdien kan reduseres med ca. 0,1 W/mK hvis den tradisjonelle isolasjonen utenfor kuldebroen byttes ut med vakuuminolasjon.



Figur 49. Kuldebroverdi for yttervegg av bindingsverk av tre mot etasjeskiller av betong. Beregningene er utført med vakuuminolasjon (konduktivitet på 0,0042 W/mK²³) og tradisjonell isolasjon (konduktivitet på 0,037 W/mK) som kuldebryter.

²⁰ Erb, M. 2005. Vacuum Insulation. Panel Properties and Building Applications. (http://www.vipbau.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Annex39_Summary_Subtask-A-B.pdf).

²¹ The 8th International Vacuum Insulation Symposium. <http://www.vip-bau.de/ivis/>.

²² Simmler, H. and Brunner, S. 2005. Vacuum insulation panels for building application. Basic properties, aging mechanisms and service life. Energy and Buildings, Vol. 27, pp. 1122-1131.

²³ <http://www.va-q-tec.de/>

7 Varmetap og normalisert kuldebro

7.1 Varmetap

Av og til kan det være nyttig å sammenligne varmetapet fra kuldebroene opp mot varmetapet fra de øvrige bygningsdelene. Dette kan gjøres med utgangspunkt i formelen

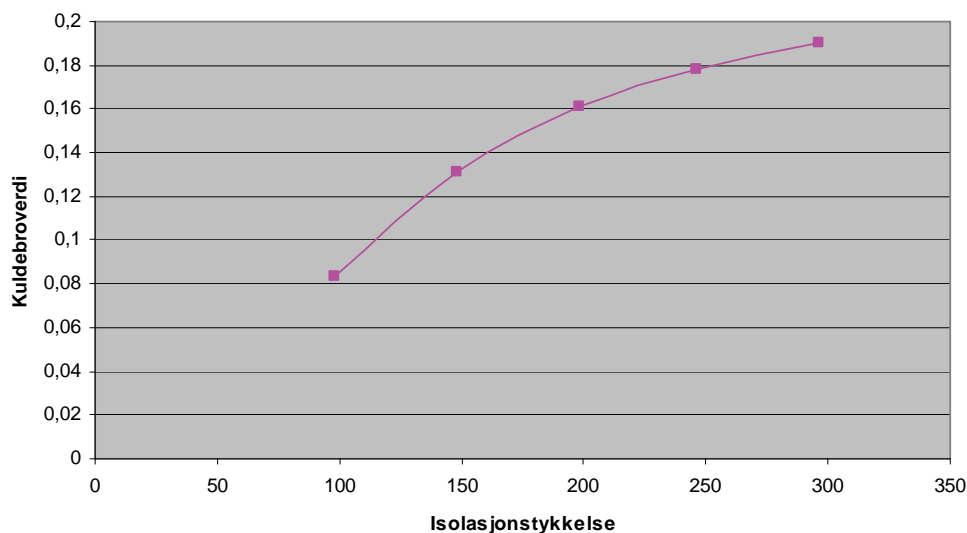
$$U_{\Delta} = \frac{\sum_k \Psi_k \cdot l_k + \sum_i X_i}{A}$$

der Ψ_k er kuldebroverdi for de lineære kuldebroene, l_k er kuldebroenes lengde. X_i er kuldebroverdi til punktkuldebroene, A er konstruksjonens areal og U_{Δ} er kuldebroenes ekvivalente U-verdi (relatert til en spesifikk konstruksjonsdels areal).

Hvis vi ser på et vindu med størrelse 1,2 m × 1,2 m så vil omkrets til dette vinduet være 4,8 m og arealet vil være 1,44 m². Over har vi sett at kuldebroverdien ved innsetting av vindu kan variere mellom 0,01 til 0,05 W/mK. Med en kuldebroverdi på 0,01 W/mK blir U_{Δ} lik 0,03 W/m²K, mens U_{Δ} blir lik 0,17 W/m²K når kuldebroverdien er lik 0,05 W/mK. Sammenlignet med U-verdien til et vindu på 1,2 W/m²K, kan altså kuldebroens bidrag til varmetapet variere fra ca. 3 til 14 % av det som en har fra vinduet selv.

For golv på grunnen for et hus med areal på 80 m² kan kuldebroverdien være 0,06 W/mK. Antar vi at golvet er 10 meter langt og 8 meter bredt vil omkretsen til golvet være 36 m. Her vil U_{Δ} bli lik 0,03 W/m²K, som sammenlignet med U-verdikravet på 0,15 W/m²K er 20 %.

Videre kan man studere varmetapet fra kuldebroen ved en etasjeskiller av betong som trenger delvis igjennom en bindingsverksvegg av tre. Kuldebroverdien er vist for en etasjeskiller med tykkelse 250 mm og for en kuldebrobryter som er 50 mm tykk i Figur 50. Isolasjonstykkelsen i veggen varierer, og er vist på x-aksen. Kuldebroverdien er vist på y-aksen. Figuren viser at kuldebroverdien øker med økende isolasjonstykkelse i veggen, selv om kuldebrobryteren har samme tykkelse (50 mm). Dette vil igjen føre til at normalisert kuldebroverdi øker, selv om totalt transmisjonstap for hele veggen (inkludert kuldebro) vil reduseres. Årsaken til dette er at kuldebroverdien varierer med veggens isolasjonstykkelse, og når U-verdien til veggen reduseres så vil kuldebroverdien øke.



Figur 50. Kuldebroverdi for etasjeskiller av betong mot bindingsverksvegg av tre. Høyden av etasjeskiller er 250 mm og tykkelsen på kuldebrobryter er 50 mm. Isolasjonstykkelsen i veggen er variert.

7.2 Eksempel på beregning av normalisert kuldebroverdi

I henhold til ny byggeforskrift skal kuldebroer vurderes spesielt opp mot et krav til normalisert kuldebroverdi, hvis man benytter energiltaksmodellen (pkt. a i § 8-21, TEK 2007). Normalisert kuldebroverdi skal ikke overstige $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ for småhus og $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ for øvrige bygg, der m^2 angis i oppvarmet BRA. Veiledning til TEK angir at kravet til normalisert kuldebroverdi kan fravikes dersom det ekstra varmetapet kompenseres med for eksempel bedre isolasjon i en annen bygningsdel eller med bedre varmegjenvinning.

Hvis man velger å dokumentere en bygnings energibehov etter krav til netto energibehov (pkt. b i § 8-21, TEK 2007), skal kuldebroene taes med ved beregning av transmisjonsvarmetapet. Da kan kuldebrobidraget legges inn i bygningsdelenes U-verdi ved bruk av følgende formel

$$U = U_0 + U_{\Delta}$$

der U_0 er konstruksjonens U-verdi uten kuldebrobidraget og U_{Δ} er kuldebroenes samlede bidrag til konstruksjonens U-verdi, se kapittel 7.1.

Det er også mulig å benytte standardverdier for normalisert kuldebro, gitt i NS 3031. Da behøver man ikke dokumentere kuldebrotapet spesielt. Man må imidlertid kompensere for det ekstra varmetapet som bruken av standardverdiene medfører. For bygninger med bæresystem i tre skal da en normalisert kuldebroverdi på $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ benyttes. For bygninger med bæresystem i betong, mur eller stål og 10 cm kuldebroyter i fasadene skal $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ benyttes. For tilsvarende bæresystem, men med 5 cm kuldebroyter i fasadene skal $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ benyttes. Verdiene er primært for nye bygninger, men kan også benyttes for eksisterende bygninger hvis ikke annen informasjon er tilgjengelig.

Nedenfor er det vist hvordan man regner ut normalisert kuldebroverdi for en bygning.

Tabell 6 viser et kuldebrognskap for et småhus på BRA 160 m^2 (to etasjer på 80 m^2 hver). Tabellen viser resultater for et hus der det har vært fokus på å redusere kuldebroene (merket "Lite kuldebroer") og for et mer normalt hus i henhold til dagens byggeskikk (merket "Normale løsninger"). Tabellen viser at det er nødvendig med full fokus på å minimalisere kuldebroene for å komme innenfor kravet til normalisert kuldebroverdi i TEK på $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vanlige løsninger ville ha gitt en noe større normalisert kuldebroverdi.

Tabell 6. . Eksempel på kuldebroregnskap for småhus i tre (BRA 160 m², to etasjer på 80 m²). Normalisert kuldebroverdi er beregnet for en løsning med lite kuldebroer, og en løsning med "normale" kuldebroer*. Det er antatt en takvinkel på 23°.

Overgangsdetalj	Lengde (m)	Antall	Total lengde (m)	Kuldebro-verdi (W/(mK))		Kuldebro (W/K)	
				Lite kuldebroer	Normale løsninger	Lite kuldebroer	Normale løsninger
Tak/langvegg	10	2	20	0,01	0,02	0,2	0,4
Tak/gavlvegg	8,7	2	17,4	0,03	0,03	0,52	0,52
Møne	10	1	10	0,02	0,02	0,2	0,2
Etasjeskiller, langvegg	10	2	20	0	0	0	0
Etasjeskiller, gavlvegg	8	2	16	0	0	0	0
Vegg/ringmur/gulv	36	1	36	0,05	0,09	1,85	3,33
Vindu/vegg	4,8	15	72	0,01	0,05	0,72	3,6
Dør/vegg	6	2	12	0,01	0,04	0,12	0,48
Hjørner	5	4	20	0,03	0,03	0,6	0,6
Totalt varmetap						4,21	9,13
Normalisert kuldebroverdi (W/m²K)						0,03	0,06

* I tillegg kommer strengt tatt kuldebroer for gjennomføringer som piper og ventilasjonskanaler, men disse er utelatt her.

8 Utbedring av kuldebroer i eksisterende bygninger

Utbedring av kuldebroer i eksisterende bygninger er ofte en vanskelig oppgave. Det stilles gjerne krav til at innvendige og utvendige overflater bør beholdes av arkitektoniske grunner eller at det skal gjøres færrest mulige inngrep av praktiske og økonomiske årsaker²⁴.

Begrunnelse for at kuldebroene ønskes utbedret kan være:

- Skader som følge av oppfukning og eventuell kondens: Muggsoppdannelse og råte, eller tapet og golvbelegg som løsner.
- Mangelfull varmekomfort: Lave golvtemperaturer ved yttervegg og/eller strålingstrekk.
- Høye oppvarmingsutgifter og stort varmetap.

En kan skille mellom to tiltak, nemlig utbedring med tilleggisolering og utbedring ved bruk av varmekilder. Ved førstnevnte tiltak vil varmetapet reduseres når komforten bedres, mens ved bruk av varmekilder vil varmetapet og oppvarmingskostnadene øke når komforten øker. Tilleggisolering er å foretrekke hvis dette er mulig, og kan utføres slik at effekten av kuldebroen kan reduseres. Varmekilder blir mest benyttet i verneverdige bygninger der det ikke er mulig å etterisolere.

8.1 Varmeisolering

En skiller mellom tre typer tilleggisolering: innvendig og utvendig isolering samt innblåsning av isolasjonsmaterialer i hulrom som kan finnes i konstruksjoner.

Ved innvendig isolering er det stort sett innvendige overflater som berøres, og utvendige arkitektoniske uttrykk bevares. Kuldebroene i dekker eller vegger som stikker igjennom ytterveggen er det vanskelig å gjøre noe med ved innvendig isolering. Effekten av isolasjonen kan være forholdsvis liten på kuldebroverdiene, men det totale transmisjonstapet vil likevel reduseres.

Ved utvendig etterisolering vil man vanligvis få det beste resultatet, dvs. kuldebroverdiene reduseres mest. Dette er også klart mest effektivt for å redusere/eliminere fare for muggvekst ettersom materialene innvendig for isolasjonen blir varmere og dermed tørrere. Også med tanke på praktiske ulemper under isoleringsarbeidet er utvendig isolering det beste alternativet. For flerfamiliehus er derfor denne formen for utbedring også lettest å organisere. Beboerne blir lite berørt av byggevirksomheten og løsningene behøver ikke tilpasses den enkeltes behov.

Innblåsning av isolasjon i konstruksjoner har generelt liten effekt på varmetapet igjennom tilstøtende kuldebroer. Men som for innvendig isolering vil likevel det totale varmetapet reduseres, slik at tiltaket likevel kan anbefales.

8.2 Varmekilder

Når det ikke er ønskelig med tilleggisolering eller hvor dette ikke er mulig, kan utbedring skje ved bruk av for eksempel varmekabler eller varmelister. Denne utbedringen fører imidlertid til at varmetapet øker.

²⁴ Ensrud, M, Haavaldsen, T. og Torgersen, S.E. 1982. Kuldebroer. Varmetap, temperatur og beregninger. Anvisning 25. Norges byggforskningsinstitutt.

Vedlegg A
Tynnplate metodebeskrivelse

Vedlegg A

Metodebeskrivelse for beregning av varmemestrøm gjennom slissede tynnplateprofiler

1 Innledning

Dette vedlegget gir en kort innføring i hvordan man regner varmemestrøm igjennom slissede tynnplateprofiler, slik som vist i figur 1. Vedlegget viser også hvordan man kan beregne kuldebroverdien for konstruksjoner som ligger inntil for eksempel en toppsvill og bunnsvill av tynnplateprofiler. Hensikten med slissene i profilsteget er å gi varmen lengre strømningsvei gjennom steget, og på den måten redusere kuldebroverdien til profilene (dvs. minke varmemestrømmen gjennom profilene).



Figur 1. Slissede tynnplateprofiler lagret på byggeplass: Topp- og bunnsvill til venstre, stender i midten og til høyre.

Beregning av varmemestrøm gjennom bygningskonstruksjoner med profilene blir et 3-D problem som kan dekomponeres til to enklere 2-D-beregninger:

- Det beregnes først en ekvivalent varmekonduktivitet for slisset del av steget
- Denne verdien benyttes så i slisset del av steget når hel konstruksjon beregnes

Se også rapport fra NBI O-7918 om "Beregning av varmegjennomgang for vegger med slissede stålstendere" av 10. nov 1983

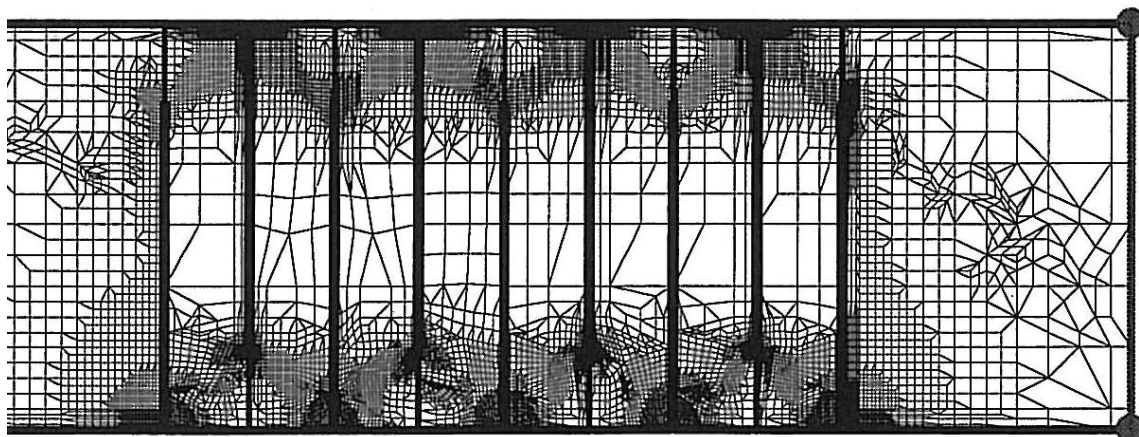
2 Ekvivalent varmekonduktivitet for slisset del av steg

Det genereres først et elementnett (se neste figur) som er representativt for steget:

- I aktuelle profiler er det symmetrilinjer som gjør at bredde på elementmodellen på 50 mm kan benyttes (halvparten av 80 mm sliss-lengde + 20 mm mellomrom).
- Det er valgt å beregne et profil med en steghøyde som er 200 mm (lengde på elementmodellen), her med 9 asymmetrisk plasserte slisser.
- Hver sliss er skåret ut fra metallet med kniv (dvs. det er ikke stanset ut noe gods). Slissen kan modelleres som en luftspalte. Beregninger viser at størrelsen på

lysåpningen har betydning for varmetapet, og at lysåpningen bør være minst 1 mm for å få en god effekt av spalten. Større lysåpning ser ut til å gi liten ekstra isolerings-effekt, mens mindre lysåpning kan gi betraktelig større varmetap.

- Avstand mellom slissene er 10 mm.
- Det antas at ekvivalent varmekonduktivitet for slisset del av steget er nær proporsjonalt med antall slisser (én av konklusjonene fra beregninger i 1983).



Figur 2. Del av elementnett av representativ del av steg (hoved-varmestramsretning er sideveis i figuren).

Resultatet av elementmetodeberegningen (utført for eksempel i varmeberegningsprogrammet THERM) er en U-verdi. Denne er lagt inn i et regneark (se neste tabell):

Tabell 1. Eksempel på beregning av ekvivalent varmekonduktivitet for slisset del av steg (forklaring nedenfor).

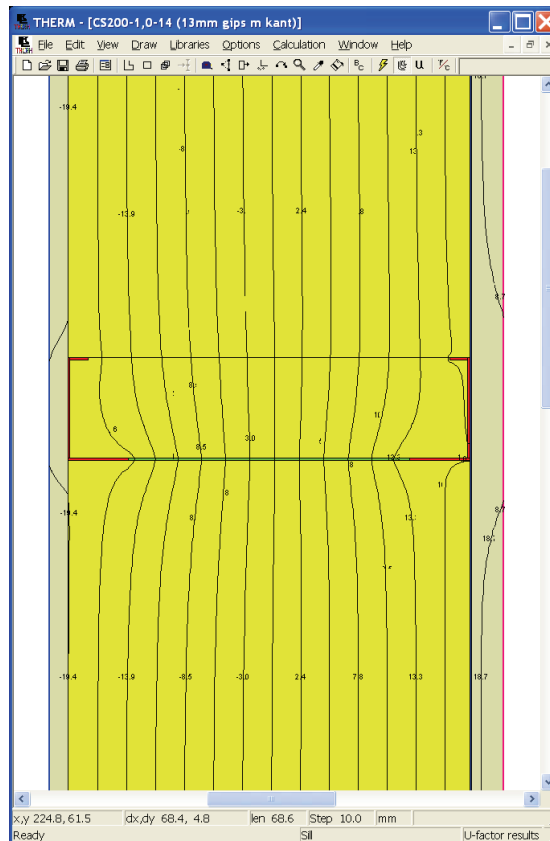
	Beskrivelse	Tallverdi	Enhet	Forklaring
1	λ helstål	55	W/mK	Varmekonduktivitet for stål
2	L slisser	0,090	m	Lengde til del av elementmodell med slisser
3	L helstål	0,110	m	Lengde til del av elementmodell uten slisser
4	U-verdi kombi	30,7	W/m ² K	Resultat fra elementmetodeberegning, U
5	R kombi	0,033	m ² K/W	Samlet varmemotstand = 1 / U
6	R stål	0,002	m ² K/W	Varmemotstand fra stål = d / λ
7	R 9 slisser	0,031		Resulterende varmemotstand til hele det slissede området = [5] - [6]
8	R 1 slisse	0,0034	m ² K/W	Varmemotstand for hver enkelt sliss = [7] / 9
9	λ slissemateriale	2,94	W/mK	Ekvivalent varmekonduktivitet for slisset del av steg = 0,01 m / [8] (5 mm på hver side av hver sliss)

3 Beregning av hel konstruksjon

Varmestrøm gjennom hel konstruksjon beregnes som et 2-D tilfelle, der slisset del av steget beregnes med et materiale med ekvivalent varmekonduktivitet (se over). Når antall slisser endres, behandles dette ved at utstrekningen av steget med slik ekvivalent varmekonduktivitet endres (se eksempel i neste figur).

Ved beregningsserier der godstykkelse til stålprofilene varieres litt i forhold til standard 1 mm godstykkelse (0,7 mm eller 1,25 mm) er det svært arbeidsbesparende å gjøre en forenkling ved å beholde geometrien som om alle beregninger er med 1 mm godstykkelse, men i stedet etterligne for eksempel 1,25 mm godstykkelse ved å multiplisere både uslisset og slisset varmekonduktivitet med 1,25. Forenklingene har svært liten innvirkning på beregningsnøyaktigheten.

U-verdi som fremkommer ved beregning der stender er plassert sentrisk i et 600 mm bredt veggfelt (som i følgende figur) er en verdi som gjelder for vegger uten innvirkning av bunn- og toppsvill, ekstra losholter osv. Dette kan korrigeres for ved å regne ut kuldebroverdien for stender i forhold til veggfelt uten kuldebrovirkning og så beregne samlet U-verdi ved å legge til denne kuldebroverdi multiplisert med øket løpemeter av detaljen til et representativt veggareal. Beregninger viser at sviller og stendere med tilsvarende benevning har svært lik kuldebroverdi.



Figur 3. Eksemplet fra beregning av et 200-profil med symmetrisk plasserte 14 slisser (ikke 9, som i foregående eksempel).

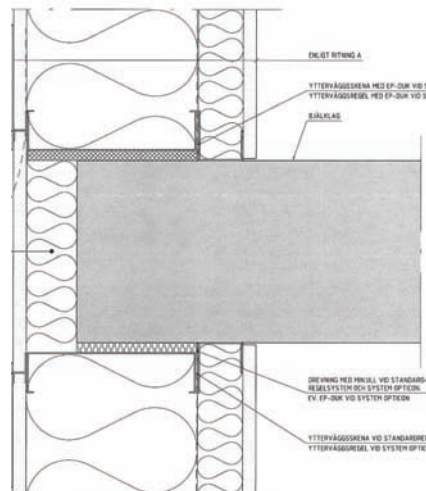
4 Beregning av kuldebroverdi for dekkeforkant med tynnplateprofiler

Figur 4 viser en etasjeskiller med toppsvill og bunnsvill av tynnplateprofiler. Metode for utregning av kuldebroverdi for dekkeforkant er uttestet med spesiell vekt på å skille kuldebrovirkning fra stendere osv. som er inkludert i U-verdi for vegg fra resterende kuldebroverdi fra selve tilslutningen. Dette kan gjøres svært enkelt:

$$\Psi_{\text{tils}} = \Psi_{\text{tot}} - \Psi_{\text{svill}}$$

Foreløpig erfaring er at god modellering av konstruksjon krever riktig verdi for bl.a

- skumlist som er montert på underside av bunnsvill
- overgang mellom svill og C-profil for utlekting
- kontakt mellom C-profil for utlekting og betong



Figur 4. Illustrasjon av kuldebro mot toppsvill og bunnsvill av stålplateprofiler.

I Tabell 2 vises metoden illustrert. Verdiene vises bare for å illustrere metoden i prinsipp. I beregningsmodellen er det lagt en symmetriplan i senter av dekke. Det er altså regnet på halve kuldebroen, dvs. kuldebroverdien for hele kuldebroen vist i Figur 4 blir altså dobbelt så stor. Utbredelse av dekke og vegg er foreløpig begrenset i utstrekning.

Tabell 2. Kuldebroverdi for dekkeforkant med tynnplateprofiler – eksempel på beregning.

Beregnet U-verdi i felt uten stender mm:			
Lag	D [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
R_e			0,130
GU	0,009	0,2100	0,043
Isolasjon	0,250	0,0370	6,757
Folie	0,001	0,0333	0,030
13 mm gips	0,013	0,2100	0,062
R_i			0,040
			<u>7,062</u>
		$U_o =$	<u>0,142</u> W/m ² K

Verdi fra elementmetode beregning av profil:

B [m] 0,600 m

U_{tot} : **0,1746** W/m²K \Rightarrow Kuldebroverdi ψ : 0,0196 W/mK **CS-200-1,00-14+Z50 (langs)**

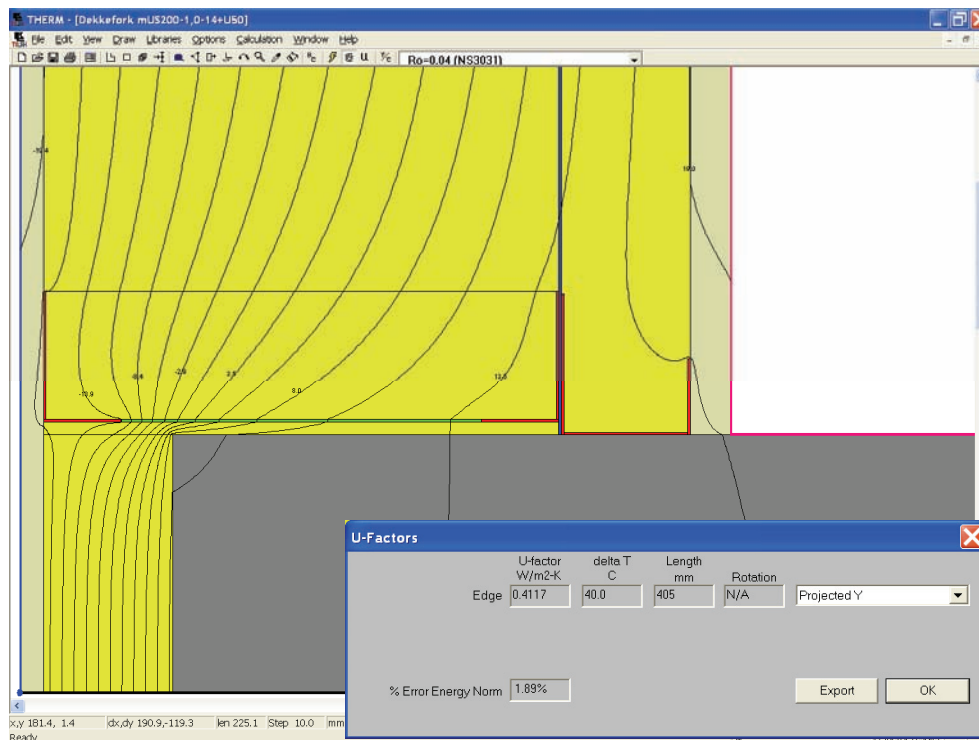
Verdi fra elementmetode beregning av dekkeforkant med profiler:

B [m] 0,405 m

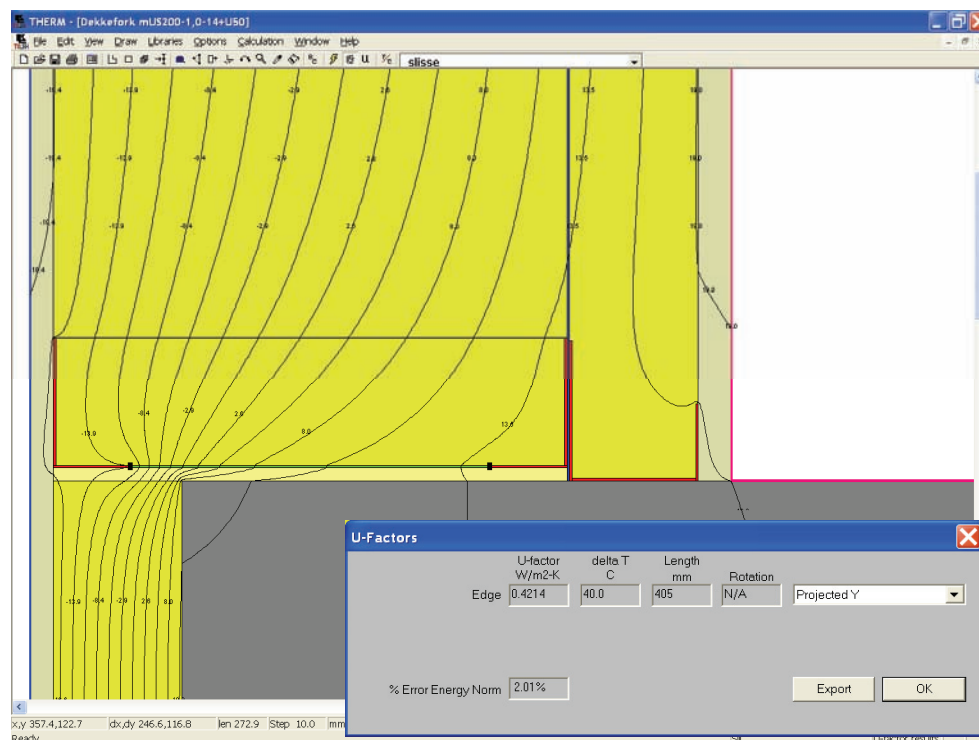
U_{tot} : **0,4214** W/m²K \Rightarrow Kuldebroverdi ψ : 0,1132 W/mK **Dekkefork m US200-1,0-14+U50**

Kuldebroverdi for bare dekkeforkant (virkning av profil fratrukket):

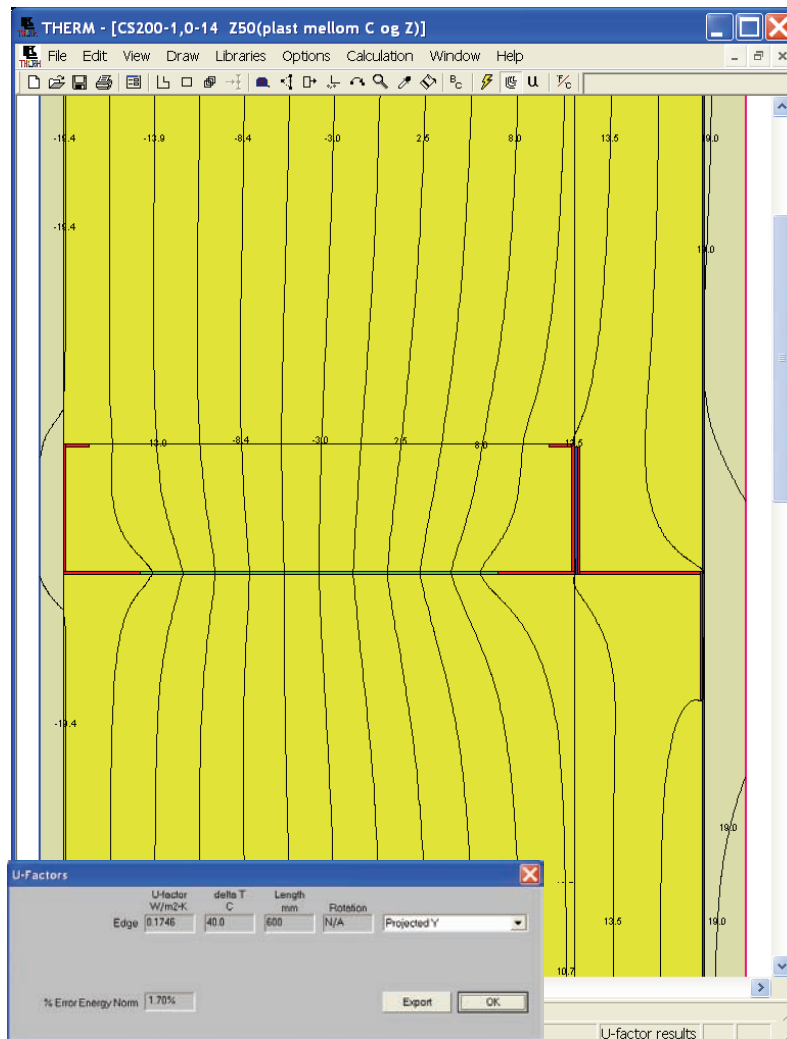
\Rightarrow Kuldebroverdi ψ : 0,0936 W/mK



Figur 5. Figur av beregningsmodellen i THERM, med beregnet U-verdi. Her er det antatt at skumlist under bunnsvill er sammenpresset til 5 mm med $\lambda = 0,037$ W/mK.



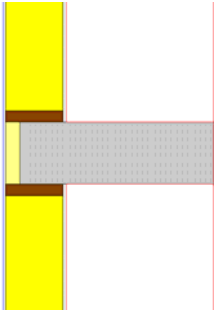
Figur 6. Figur av beregningsmodellen i THERM, med beregnet U-verdi. Her er det antatt at skumlisten er sammenpresset til 5 mm med $\lambda = 0,05$ W/mK.




Figur 7. Figur av beregningsmodellen for veggfeltet i THERM, med beregnet U-verdi.

Vedlegg B
DataArk med kuldebroverdier

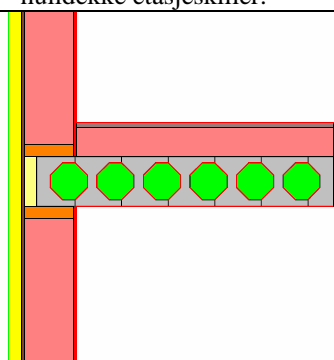


Detalj: Tilslutning mellom etasjeskiller i betong (med konduktivitet på 1,65 W/mK) og bindingsverksvegg.	Dato siste revisjon: 2008-02-12																																										
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved tilslutning mellom etasjeskiller i betong og bindingsverksvegg. Bunnsvill og toppsvill er inkludert i veggens U-verdi. Veggens og etasjeskillerens tykkelse, og tykkelsen på kuldebroyteren er variert, se tabellene nedenfor.																																										
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og tykkelsen på kuldebroyteren.																																											
<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">Tykkelse på isolasjon i vegg, t [mm]</th><th rowspan="2">Tykkelse på kuldebroyter, t_k [mm]</th><th colspan="2">Dekketykkelse [mm]</th></tr><tr><th>200</th><th>250</th></tr></thead><tbody><tr><td>98</td><td>50</td><td>0,07</td><td>0,08</td></tr><tr><td>148</td><td>50</td><td>0,11</td><td>0,12</td></tr><tr><td>198</td><td>50</td><td>0,13</td><td>0,15</td></tr><tr><td>198</td><td>100</td><td>0,05</td><td>0,06</td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>50</td><td>0,15</td><td>0,16</td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>100</td><td>0,07</td><td>0,08</td></tr><tr><td>148 + 148</td><td>50</td><td>0,16</td><td>0,18</td></tr><tr><td>148 + 148</td><td>100</td><td>0,08</td><td>0,09</td></tr><tr><td>148 + 148</td><td>150</td><td>0,04</td><td>0,05</td></tr></tbody></table>	Tykkelse på isolasjon i vegg, t [mm]	Tykkelse på kuldebroyter, t _k [mm]	Dekketykkelse [mm]		200	250	98	50	0,07	0,08	148	50	0,11	0,12	198	50	0,13	0,15	198	100	0,05	0,06	148 + 98	50	0,15	0,16	148 + 98	100	0,07	0,08	148 + 148	50	0,16	0,18	148 + 148	100	0,08	0,09	148 + 148	150	0,04	0,05	
Tykkelse på isolasjon i vegg, t [mm]			Tykkelse på kuldebroyter, t _k [mm]	Dekketykkelse [mm]																																							
	200	250																																									
98	50	0,07	0,08																																								
148	50	0,11	0,12																																								
198	50	0,13	0,15																																								
198	100	0,05	0,06																																								
148 + 98	50	0,15	0,16																																								
148 + 98	100	0,07	0,08																																								
148 + 148	50	0,16	0,18																																								
148 + 148	100	0,08	0,09																																								
148 + 148	150	0,04	0,05																																								
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Enkel bunnsvill og toppsvill i veggens er inkludert i veggens U-verdi. Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m ² K og utvendig overgangsmotstand er satt til å være 0.13 W/m ² K (for å ta hensyn til luftet kledning). Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524. NB: Merk at en konduktivitet på 1,65 W/mK er benyttet for betong i beregningene, noe som forutsetter at stål ikke ligger parallelt med varmestrømsretningen inne i betongen. (Egne resultater finnes for armert betong.)																																											
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2																																											



Detalj: Tilslutning mellom etasjeskiller i betong (1% stål, konduktivitet på 2,3 W/mK) og bindingsverksvegg.	Dato siste revisjon: 2008-02-12																																										
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved tilslutning mellom etasjeskiller i betong og bindingsverksvegg. Bunnsvill og toppsvill er inkludert i veggens U-verdi. Veggens og etasjeskillerens tykkelse, og tykkelsen på kuldebrobryteren er variert, se tabellene nedenfor.																																										
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Y [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og tykkelsen på kuldebrobryteren.																																											
<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">Tykkelse på isolasjon i vegg, t [mm]</th><th rowspan="2">Tykkelse på kuldebrobryter, t_k [mm]</th><th colspan="2">Dekketykkelse [mm]</th></tr><tr><th>200</th><th>250</th></tr></thead><tbody><tr><td>98</td><td>50</td><td></td><td>0,083</td></tr><tr><td>148</td><td>50</td><td></td><td>0,131</td></tr><tr><td>198</td><td>50</td><td></td><td>0,161</td></tr><tr><td>198</td><td>100</td><td></td><td>0,060</td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>50</td><td></td><td>0,178</td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>100</td><td></td><td>0,080</td></tr><tr><td>148 + 148</td><td>50</td><td></td><td>0,190</td></tr><tr><td>148 + 148</td><td>100</td><td></td><td>0,096</td></tr><tr><td>148 + 148</td><td>150</td><td></td><td>0,049</td></tr></tbody></table>	Tykkelse på isolasjon i vegg, t [mm]	Tykkelse på kuldebrobryter, t _k [mm]	Dekketykkelse [mm]		200	250	98	50		0,083	148	50		0,131	198	50		0,161	198	100		0,060	148 + 98	50		0,178	148 + 98	100		0,080	148 + 148	50		0,190	148 + 148	100		0,096	148 + 148	150		0,049	
Tykkelse på isolasjon i vegg, t [mm]			Tykkelse på kuldebrobryter, t _k [mm]	Dekketykkelse [mm]																																							
	200	250																																									
98	50		0,083																																								
148	50		0,131																																								
198	50		0,161																																								
198	100		0,060																																								
148 + 98	50		0,178																																								
148 + 98	100		0,080																																								
148 + 148	50		0,190																																								
148 + 148	100		0,096																																								
148 + 148	150		0,049																																								
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Bunnsvill og toppsvill i veggene er inkludert i veggens U-verdi. Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m ² K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0,13 W/m ² K (for å ta hensyn til luftet kledning). Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524. NB: Merk at en konduktivitet på 2,3 W/mK er benyttet for betongen i beregningene, noe som forutsetter at 1% med stål er inkludert i betongen.																																											
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2																																											



Detalj: Yttervegg – hulldekke etasjeskiller.	Dato siste revisjon April 2008
	Konstruksjonsbeskrivelse Hulldekke etasjeskiller mot yttervegg med ventilert kledning. Bindingsverk i vegg (tresviller), med 50 mm utvendig isolasjon. Hulldekket er av typen HD200, som vil si at hulldekket er 200 mm høyt. To gulvvarianter er simulert, et 150 mm isolert lydgv, og golv rett på betong. Murplaten på 50 mm er antatt benyttet for alle variantene, mens total kuldebrobryter varierer i størrelse etter veggtykkelse.

Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]

	Isolasjonstykkelse vegg [mm]	Kuldebrobryter [mm]	Ψ [W/mK]	Golvtype
$\lambda_{\text{betong}} = 1,65$ [W/mK]	50+198	50+50	0,07	Gulv rett på betong
	50+198	50+50	0,07	Lydgv
	50+198	50+100	0,04	Lydgv
	50+148+98	50+50	0,07	Gulv rett på betong
	50+148+98	50+100	0,05	Lydgv
	50+148+98	50+100	0,05	Lydgv
	50+148+148	50+100	0,06	Lydgv
	50+148+148	50+150	0,04	Lydgv
$\lambda_{\text{betong}} = 2,3$ [W/mK]	50+198	50+50	0,08	Gulv rett på betong
	50+198	50+50	0,07	Lydgv
	50+198	50+100	0,05	Lydgv
	50+148+98	50+50	0,07	Gulv rett på betong
	50+148+98	50+100	0,05	Lydgv
	50+148+98	50+100	0,05	Lydgv
	50+148+148	50+100	0,06	Lydgv
	50+148+148	50+150	0,04	Lydgv

Forutsetninger:

Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Hulrommet i hulldekkene er simulert med en ekvivalent konduktivitet på henholdsvis 1,13 og 1,39 W/mK for tilfellene der det er antatt en konduktivitet på henholdsvis 1,65 og 2,3 W/mK for betongen.

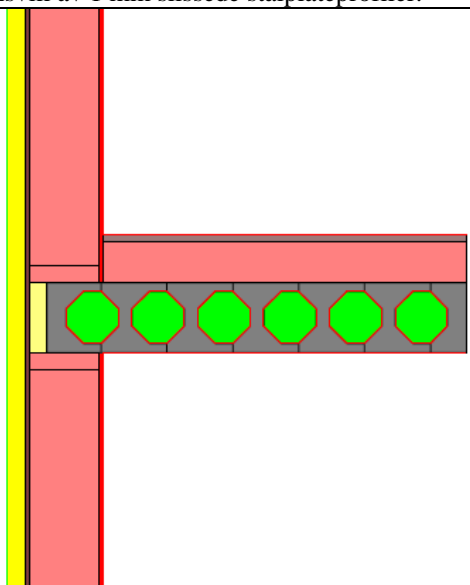
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.

Standarder som er fulgt ved beregningen:

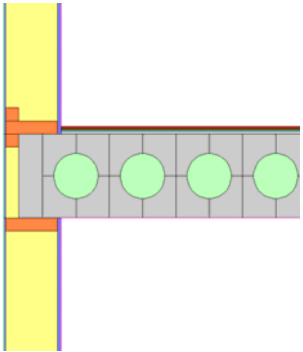
NS-EN ISO 6946 og NS-EN ISO 10211

--	--

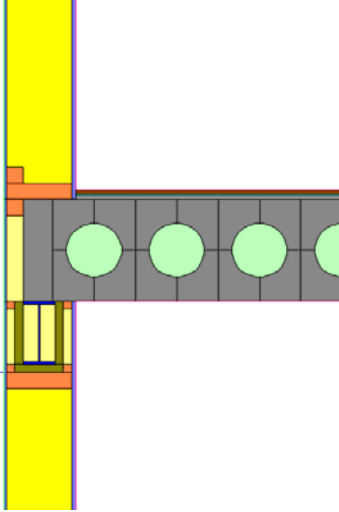


Detalj: Yttervegg – hulldekke etasjeskiller. Toppsvill og bunnsvill av 1 mm slissede stålplateprofiler.	Dato siste revisjon Mai 2008			
	Konstruksjonsbeskrivelse Hulldekke etasjeskiller mot yttervegg med ventilert kledning. Bindingsverk i vegg med topp- og bunnsvill av 1 mm slissede stålplateprofiler, med 50 mm utvendig isolasjon. Hulldekket er av typen HD265, som vil si at hulldekket er 265 mm høyt. Golvet er et 150 mm isolert lydgv. Murplaten på 50 mm er antatt benyttet for alle variantene, mens total kuldebrobryter varierer i størrelse etter veggtykkelse.			
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]				
$\lambda_{\text{betong}} = 2,3$ [W/mK]	Isolasjonstykkelse vegg [mm]	Kuldebrobryter [mm]	Ψ [W/mK]	Golvtype
	50+198	50+50	0,09	Lydgv
	50+148+148	50+150	0,05	Lydgv
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Hulrommet i hulldekkene er simulert med en ekvivalent konduktivitet på 1,39 W/mK. Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.				
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946 og NS-EN ISO 10211				

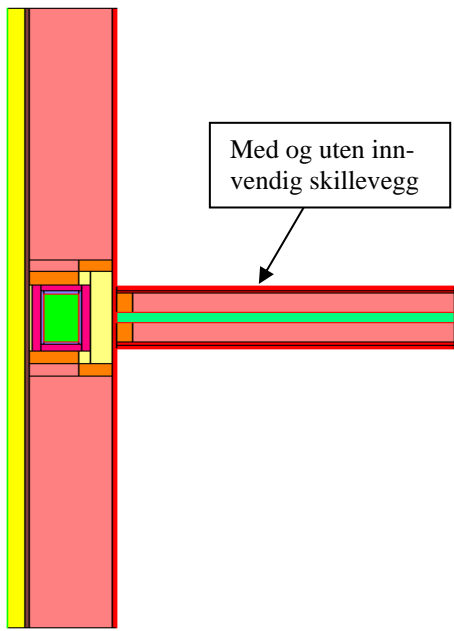


Detalj: Yttervegg – hulldekke etasjeskiller, HD320.	Dato siste revisjon April 2008									
	Konstruksjonsbeskrivelse Hulldekke etasjeskiller mot yttervegg med ventilert kledning. Bindingsverk i vegg (tresviller). Hulldekket er av typen HD320, som vil si at hulldekket er 320 mm høyt. På hulldekket er det 10 mm påstøp, 5 mm PE skum og 15 tregulv. For betongen i hulldekkene er det antatt en varmeledningsevne på 2,3 W/mK. For 250 mm veggtykkelse er det lagt på 50 mm isolasjon ($\lambda = 0,037$ W/mK) utenfor gipsplaten.									
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]										
<table border="1"><thead><tr><th>Isolasjonstykkelse vegg [mm]</th><th>Tykkelse på kuldebrobryter [mm]</th><th>Ψ [W/mK]</th></tr></thead><tbody><tr><td>200</td><td>50</td><td>0,26^{*)}</td></tr><tr><td>250</td><td>100</td><td>0,11^{*)}</td></tr></tbody></table>	Isolasjonstykkelse vegg [mm]	Tykkelse på kuldebrobryter [mm]	Ψ [W/mK]	200	50	0,26 ^{*)}	250	100	0,11 ^{*)}	
Isolasjonstykkelse vegg [mm]	Tykkelse på kuldebrobryter [mm]	Ψ [W/mK]								
200	50	0,26 ^{*)}								
250	100	0,11 ^{*)}								
^{*)} Fjernes 50x50 mm lektene over/under bunnsvillen så reduseres Ψ med ca. 0,05 W/mK. ⁺⁾ Fjernes 50x50 mm lektene over/under bunnsvillen så reduseres Ψ med ca. 0,01 W/mK.										
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%.										
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 10456.										
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946 og NS-EN ISO 10211										



Detalj: Yttervegg – hulldekke etasjeskiller, HD320 på IPE 200 med 25 mm brannisolering.	Dato siste revisjon April 2008									
	Konstruksjonsbeskrivelse Hulldekke etasjeskiller mot yttervegg med ventilert kledning. Bindingsverk i vegg (tresviller). Hulldekket er av typen HD320, som vil si at hulldekket er 320 mm høyt. Dekke opplagt på IPE 200 med 25 mm brannisolering. På hulldekket er det 10 mm påstøp, 5 mm PE skum og 15 tregulv. For betongen i hulldekkene er det antatt en varmeledningsevne på 2,3 W/mK. For 250 mm veggtykkelse er det lagt på 50 mm isolasjon ($\lambda = 0,037$ W/mK) utenfor gipsplaten.									
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]										
<table border="1"><thead><tr><th>Isolasjonstykkelse vegg [mm]</th><th>Tykkelse på kuldebrobryter [mm]</th><th>Ψ [W/mK]</th></tr></thead><tbody><tr><td>200</td><td>50</td><td>0,27^{*)}</td></tr><tr><td>250</td><td>100</td><td>0,12^{*)}</td></tr></tbody></table>	Isolasjonstykkelse vegg [mm]	Tykkelse på kuldebrobryter [mm]	Ψ [W/mK]	200	50	0,27 ^{*)}	250	100	0,12 ^{*)}	
Isolasjonstykkelse vegg [mm]	Tykkelse på kuldebrobryter [mm]	Ψ [W/mK]								
200	50	0,27 ^{*)}								
250	100	0,12 ^{*)}								
*) Fjernes 50x50 mm lektene over/under bunnsvillen så reduseres Ψ med ca. 0,04 W/mK. ^) Fjernes 50x50 mm lektene over/under bunnsvillen så reduseres Ψ med ca. 0,01 W/mK.										
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%.										
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 10456.										
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946 og NS-EN ISO 10211										



Detalj: Veggkonstruksjon med stålsøyle.		Dato siste revisjon April 2008		
		Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro for stålsøyle i vegg (med og uten skillevegg ved stålsøyla). Det er benyttet stålsøyle som bærende konstruksjon. Dimensjonen på denne er variert sammen med isolasjonstykkelse. 25 mm brannisolasjon er benyttet. Bindingsverket i veggen er 48 mm tykt. 13 mm GlasRoc er benyttet på utsiden av bindingsverket, 13 mm gipsplate på innsiden. Hvis murplate er benyttet er denne 50 mm tykk.		
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]				
Isolasjonstykkelse bindingsverk [mm]	50 mm murplate	U-verdi vegg uten søyle [W/m ² K]	Søyledimensjoner	
			120x200x10 Ψ [W/mK]	100x200x10 Ψ [W/mK]
198	Ja	0,16	0,05 ^{*)}	0,04
148+98		0,14	0,03	0,02
148+148		0,12	0,03	0,02
148+98	Nei	0,18	0,04	0,03
148+148		0,15	0,03	0,03

*) Med lydvegg reduseres kuldebroverdien for denne konstruksjonen med 0,01 W/mK.

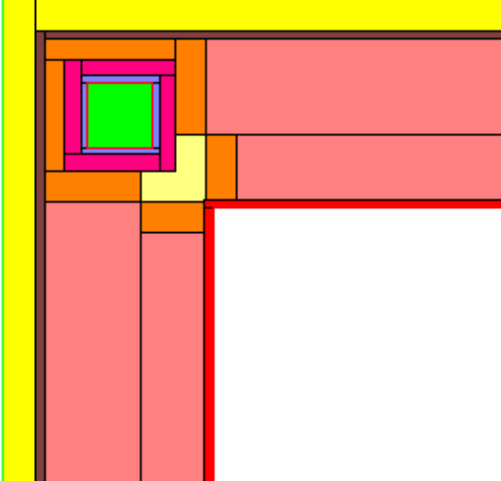
Modellering for de ulike isolasjonstykkelsene med og uten en innvendig lydskillevegg viser at den innvendige lydveggen har liten betydning for kuldebroverdien rundt søylen. Mår man regner med 2 desimaler er det kun for vegg med 198 mm isolasjon at man får en forskjell i kuldebroverdi.

Forutsetninger:
Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%.

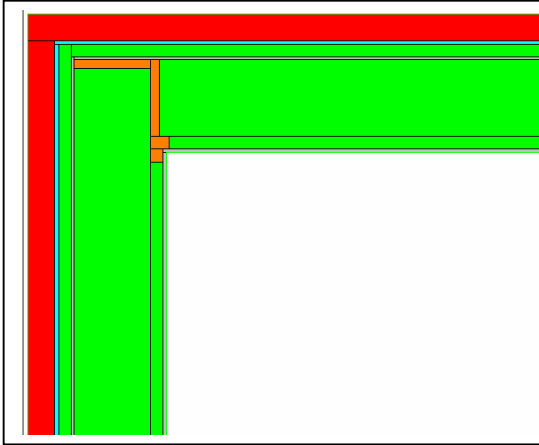
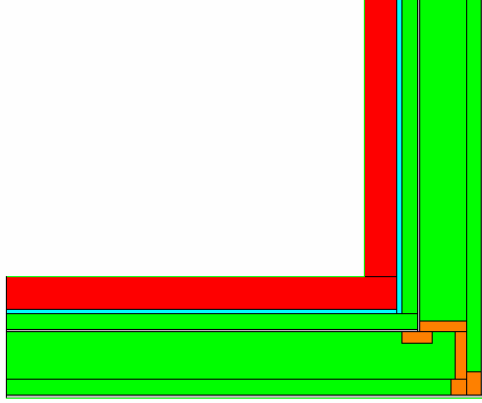
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.

Standarder som er fulgt ved beregningen:
NS-EN ISO 6946 og NS-EN ISO 10211



Detalj: Hjørnekonstruksjon med stålsøyle. Utadgående hjørne.	Dato siste revisjon April 2008																													
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom to vegger i et utadgående hjørne. Det er benyttet stålsøyle som bærende konstruksjon. Dimensjonen på denne er variert sammen med isolasjonstykkelse. 25 mm brannisolasjon er benyttet. Trestenderne på utsiden av stålsøyla har tykkelse på 32 mm. Bindingsverket i veggen er 48 mm tykt. 13 mm GlasRoc er benyttet på utsiden av bindingsverket, 13 mm gipsplate på innsiden. Hvis murplate er benyttet er denne 50 mm tykk. Effekten av lydvegg er også studert.																													
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]																														
<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">Isolasjonstykkelse bindingsverk [mm]</th><th rowspan="2">50 mm murplate</th><th rowspan="2">U-verdi vegg uten søyle [W/m²K]</th><th colspan="2">Søyledimensjoner</th></tr><tr><th>100x100x10 Ψ [W/mK]</th><th>120x120x10 Ψ [W/mK]</th></tr></thead><tbody><tr><td>198</td><td rowspan="3">Ja</td><td>0,16</td><td>0,08</td><td>0,08</td></tr><tr><td>148+98</td><td>0,14</td><td>0,05</td><td>0,05</td></tr><tr><td>148+148</td><td>0,12</td><td>0,04</td><td>0,05</td></tr><tr><td>148+98</td><td rowspan="2">Nei</td><td>0,18</td><td>0,05</td><td>0,05</td></tr><tr><td>148+148</td><td>0,15</td><td>0,05</td><td>0,04</td></tr></tbody></table>		Isolasjonstykkelse bindingsverk [mm]	50 mm murplate	U-verdi vegg uten søyle [W/m ² K]	Søyledimensjoner		100x100x10 Ψ [W/mK]	120x120x10 Ψ [W/mK]	198	Ja	0,16	0,08	0,08	148+98	0,14	0,05	0,05	148+148	0,12	0,04	0,05	148+98	Nei	0,18	0,05	0,05	148+148	0,15	0,05	0,04
Isolasjonstykkelse bindingsverk [mm]	50 mm murplate				U-verdi vegg uten søyle [W/m ² K]	Søyledimensjoner																								
		100x100x10 Ψ [W/mK]	120x120x10 Ψ [W/mK]																											
198	Ja	0,16	0,08	0,08																										
148+98		0,14	0,05	0,05																										
148+148		0,12	0,04	0,05																										
148+98	Nei	0,18	0,05	0,05																										
148+148		0,15	0,05	0,04																										
Modellering for de ulike isolasjonstykkelsene med og uten en innvendig lydskillevegg viser at den innvendige lydveggen ikke har noen betydning for kuldebroverdien rundt søylen.																														
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%.																														
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.																														
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946 og NS-EN ISO 10211																														

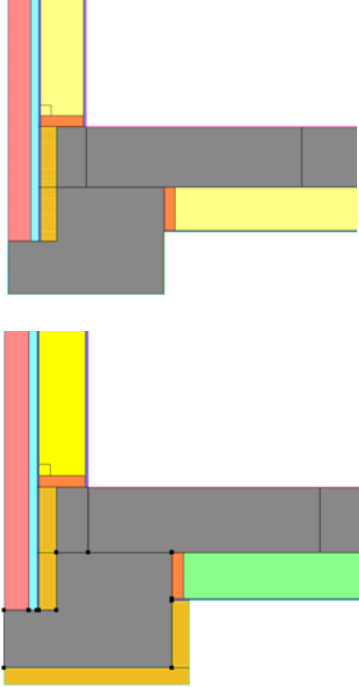


Detalj: Teglforblendet bindingsverk Utadgående hjørne. Tegl på utsiden.		Innadgående hjørne. Tegl på utsiden. 50 mm murplate mellom tegl og vindsperre av gips.				
						
Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved hjørne bindingsverksvegg forblendet med tegl, normalformat. I bindingsverket er det regnet med 12% treverk. Veggen er regnet som 200, 250, 300, 350 og 400 mm bindingsverk inkl 50 mm murplate på utside av gipsplata. Dampsperra er inntrukket. Se tabellene nedenfor. Det er regnet med 13 mm gips innvendig, 9mm utvendig + 50 mm murplate, 15mm svakt ventilert luftspalte + 104 mm teglstein. Det er regnet med 2 m lange vegger målt på innvendig flate.						
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av tykkelse på isolasjonen	Isolasjonstykkelse [mm]					
	200	250	300	350	400	
	Utvendig hjørne	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Innvendig hjørne	-0,06	-0,06	Ikke beregnet, men blir likt		-0,06	
*Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Losholter, stendere og sviller i veggen er inkludert i veggens U-verdi. NS-EN-ISO 16946 angir at luftspalte svakt ventilert skal ha halv motstand i forhold til verdien i tabell 2. For 15 mm er dette $R_{spalte} = 0,5 * 0,17 = 0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$ som tilsvarer $\lambda = d/R = 0,015/0,08 = 0,19 \text{ W/mK}$. Motstanden i sjiktet utenfor spalta kan maks være $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$. $R_{tegl}(108 \text{ mm}) = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ etter NBI 471.010 tab. 31. Bruker $0,15 \text{ W/mK}$ for 104 mm som tilsvarer $\lambda = 0,104/0,15 = 0,69 \text{ W/mK}$. Ser bort fra bindere/forankring da disse ikke blir brukt nær hjørnet. Pga forhøyet fuktinnhold er det regnet med $0,044 \text{ W/mK}$ som konduktivitet for murplata.						
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.						
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211						



<p>Detalj: Teglforblendet isolert plasstøpt betongvegg. Utadgående hjørne. Tegl på utsiden.</p>					
<p>Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved hjørne av 160 mm betongvegg forblendet med tegl, normalformat. Isolasjonen er regnet med varmekonduktivitet 0,037 W/mK. I parentes er verdiene satt opp for 200 mm betong i stedet for 160 mm. Veggene er regnet som 200, 250, 300, 350 og 400 mm. 15mm svakt ventilert luftspalte + 104 mm teglstein. Det er regnet med 1,5 til 2 m lange vegger målt på innvendig flate.</p>					
<p>Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av tykkelse på isolasjonen</p>	Isolasjonstykkelse [mm]				
	200	250	300	350	400
	<p>Utvendig hjørne: 160 mm betong 200 mm betong</p>	0,07 (0,08)	0,06 (0,07)	0,05 (0,06)	0,05 (0,06)
<p>Innvendig hjørne: 160 mm betong 200 mm betong</p>	-0,11 (-0,12)	-0,10 (-0,11)	-0,09 (-0,10)	-0,09 (-0,09)	-0,08 (-0,09)
<p>*Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. NS-EN-ISO 6946 angir at luftspalte svakt ventilert skal ha halv motstand i forhold til verdien i tabell 2. For 15mm er dette $R_{spalte} = 0,5 \cdot 0,17 = 0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$ som tilsvarer $\lambda = d/R = 0,015/0,08 = 0,19 \text{ W/mK}$. Motstanden i sjiktet utenfor spalte kan maks være $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$. $R_{tegl}(104 \text{ mm}) = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ etter NBI 471.010 tab. 31. Bruker 0,15 for 104 mm som tilsvarer $\lambda = 0,104/0,15 = 0,69 \text{ W/mK}$. Set bort fra bindere/forankring da disse ikke blir brukt nær hjørnet og evt virkning av bindere vil falle bort når en ser bare på kuldebruvirkningen.</p>					
<p>Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.</p>					
<p>Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211</p>					

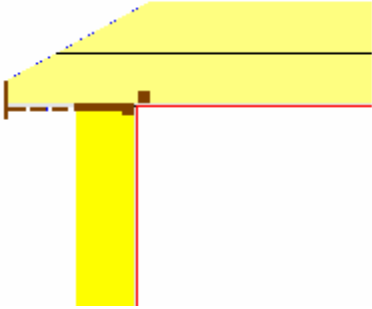


Detalj: Sokkel for teglvegg.	Dato siste revisjon April 2008
	<p>Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved sokkel for teglvegg. Det er i tillegg betongsøyler som bærer golvkonstruksjonen (ikke vist i figuren), og det er uteforhold under golvet (en inntrukket fasade, som ikke er vist). Det er gjennomgående betong som vil føre til lave temperaturer på golvet.</p> <p>Betongplaten er 280 mm tykk i golvet, og 500 mm bred ved overgang til vegg. Høyden på betongen som understøtter teglveggen er 250 mm. Veggens isolasjonstykkelse er 200 mm, men en forandring i denne vil nok ikke redusere kuldebroverdier mye. Tykkelsen på isolasjonen i golvet er også 200 mm.</p>
<p>Detaljen, som vist på den øverste figuren vil normalt gi ha en kuldebroverdi på ca 1,21 W/mK, dvs. en relativt kraftig kuldebro - med lav golvtemperatur ute ved yttervegg!</p> <p>75 mm ekstra isolasjon (0,034) på vertikal innside forbedrer kuldebroverdier til ca 1,15 W/mK. Med 75 mm isolasjon også på undersiden av betongbjelken forbedres kuldebroverdier til ca 0,80 W/mK (men søylene vil fortsatt være punkt-kuldebroer).</p> <p>Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan benyttes for vegger med 9-15% treandel. Som referanse benyttes veggen og golvet simulert separat. I golvet er det antatt en treandel på 9%. Verdiene kan også benyttes som en tilnærming hvis det ikke er treverk i golvet.</p> <p>Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m²K for vegg og golv, og utvendig overgangsmotstand er 0,04 for vegg og 0,13 W/m²K for golvkonstruksjonen.</p> <p>Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 10456.</p>	
<p>Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211</p>	

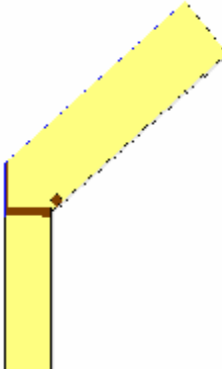


Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg og tak med trapeskorrugert stålplate (holdes opp av IP-bjelke).	Dato siste revisjon April 2008																																								
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom bindingsverksvegg og tak med trapeskorrugert stålplate som holdes opp av IP-bjelke. Trapeskorrugert stålplate er estimert som et luftfylt hulrom med 1 mm stål over og under. Takkonstruksjonen utenfra og innover: 300 (350 eller 400) mm isolasjon, 1 mm galv. stål, 198 mm hulrom, uvent. (ISO-6946), 1 mm galv. stål, 50 mm isolasjon, 2x15mm gipsplate. Veggkonstruksjonen innenfra og utover: 13 mm gips, 50+150 mm isolasjon, 9 mm gips. Standard isolasjonstykkelse utenfor stålplaten og utenfor IP-bjelken er 50 mm (men denne varieres med veggisolasjonen). Tykkelsen på isolasjonen i vegg og tak er variert, se tabell.																																								
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]																																									
<table border="1"><thead><tr><th>Samlet isolasjon i vegg utenfra og innover, mm[*])</th><th>Takisolasjon^{†)} mm</th><th>Tykkelse på kuldebrobryter, mm</th><th>Kuldebroverdi, W/mK</th></tr></thead><tbody><tr><td>150+50</td><td>300+50</td><td>50</td><td>0,15</td></tr><tr><td>150+50</td><td>350+50</td><td>50</td><td>0,16</td></tr><tr><td>150+50</td><td>400+50</td><td>50</td><td>0,16</td></tr><tr><td>25+150+50</td><td>300+50</td><td>75</td><td>0,13</td></tr><tr><td>50+150+50</td><td>300+50</td><td>100</td><td>0,11</td></tr><tr><td>150+50</td><td>300+50+25</td><td>50</td><td>0,13</td></tr><tr><td>150+50</td><td>300+50+75</td><td>50</td><td>0,11</td></tr><tr><td>25+150+50</td><td>300+50+25</td><td>75</td><td>0,11</td></tr><tr><td>50+150+50</td><td>300+50+25</td><td>100</td><td>0,10</td></tr></tbody></table>	Samlet isolasjon i vegg utenfra og innover, mm [*])	Takisolasjon ^{†)} mm	Tykkelse på kuldebrobryter, mm	Kuldebroverdi, W/mK	150+50	300+50	50	0,15	150+50	350+50	50	0,16	150+50	400+50	50	0,16	25+150+50	300+50	75	0,13	50+150+50	300+50	100	0,11	150+50	300+50+25	50	0,13	150+50	300+50+75	50	0,11	25+150+50	300+50+25	75	0,11	50+150+50	300+50+25	100	0,10	
Samlet isolasjon i vegg utenfra og innover, mm [*])	Takisolasjon ^{†)} mm	Tykkelse på kuldebrobryter, mm	Kuldebroverdi, W/mK																																						
150+50	300+50	50	0,15																																						
150+50	350+50	50	0,16																																						
150+50	400+50	50	0,16																																						
25+150+50	300+50	75	0,13																																						
50+150+50	300+50	100	0,11																																						
150+50	300+50+25	50	0,13																																						
150+50	300+50+75	50	0,11																																						
25+150+50	300+50+25	75	0,11																																						
50+150+50	300+50+25	100	0,10																																						
*) For tilfellene med økt veggisolasjon er det lagt på et utvendig homogent isolasjonssjikt med lambda lik 0,0449 utenfor gipsplaten. Svillene i basistilfellet (150+50) er ikke endret/utvidet.																																									
†) Den ekstra tak isolasjonen er lagt på innsiden.																																									
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 9% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med 12% treandel. Som referanse benyttes veggen og taket simulert separat. Brannisolasjonen har konduktivitet på 0,038W/mK. Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m ² K for vegg og 0,10 W/m ² K for tak, og utvendig overgangsmotstand er 0,04 W/m ² K for tak og 0,13 W/m ² K for vegg (luftet kledning). Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 10456.																																									
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211																																									



Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg og kaldt, ikke luftet loft.	Dato siste revisjon: 2008-02-13																					
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved tilslutning mellom bindingsverksvegg og kaldt, ikke luftet loft. Veggens toppsvill er inkludert i veggens U-verdi. Veggens og takets tykkelse, se tabellen nedenfor.																					
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Y [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og tak.																						
<table border="1"><thead><tr><th>Tykkelse på isolasjon i vegg [mm]</th><th>Tykkelse på isolasjon i tak [mm]</th><th>Kuldebroverdi [W/mK]</th></tr></thead><tbody><tr><td>198</td><td>48+250</td><td></td></tr><tr><td>198</td><td>48+300</td><td></td></tr><tr><td>198</td><td>48+350</td><td></td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>48+250</td><td>0,023</td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>48+300</td><td>0,024</td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>48+350</td><td>0,025</td></tr></tbody></table>	Tykkelse på isolasjon i vegg [mm]	Tykkelse på isolasjon i tak [mm]	Kuldebroverdi [W/mK]	198	48+250		198	48+300		198	48+350		148 + 98	48+250	0,023	148 + 98	48+300	0,024	148 + 98	48+350	0,025	
Tykkelse på isolasjon i vegg [mm]	Tykkelse på isolasjon i tak [mm]	Kuldebroverdi [W/mK]																				
198	48+250																					
198	48+300																					
198	48+350																					
148 + 98	48+250	0,023																				
148 + 98	48+300	0,024																				
148 + 98	48+350	0,025																				
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Bunnsvill og toppsvill i veggen er inkludert i veggens U-verdi. For takkonstruksjonen er det tatt hensyn til undergurt med dimensjon 48 × 148 mm med avstand 60 cm. Himlingen er lektet ned 48 mm, under undergurt. Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m ² K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0,13 W/m ² K (for å ta hensyn til luftet kledning). Opp mot kaldt loft (horisontal grense på utsiden av isolasjonen) er det antatt en overgangsmotstand på 0,16 + 0,13 = 0,29 W/m ² K. 0,16 W/m ² K tilsvarer motstand for hulrom over 15 mm tykkelse, ifølge ISO 6946. 0,13 W/m ² K er for luftet kledning. Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.																						
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2																						



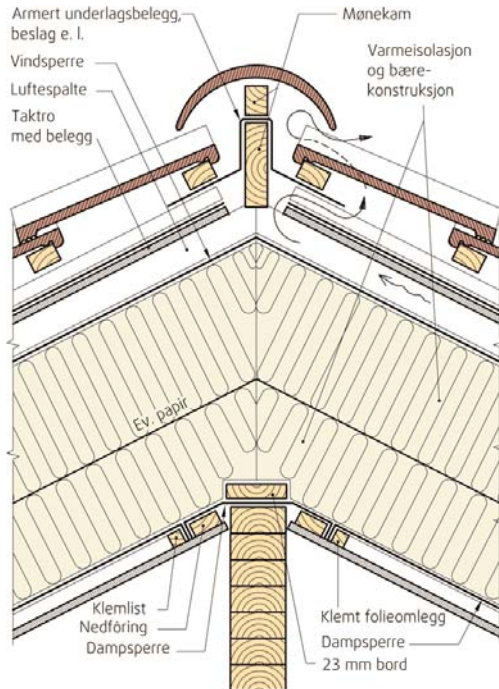
Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg og sperretak med løst takutstikk/utstikkende sperrer.	Dato siste revisjon: 2008-02-13																														
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved tilslutning mellom bindingsverksvegg og tak med løst takutstikk/utstikkende sperrer. Veggens toppsvill er inkludert i veggens U-verdi. Veggens og takets tykkelse er variert sammen med takets vinkel, se tabellen nedenfor.																														
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Y [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og tak og takvinkel.																															
<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">Tykkelse på isolasjon i vegg [mm]</th><th rowspan="2">Tykkelse på isolasjon i tak [mm]</th><th colspan="2">Vinkel på taket [°]</th></tr><tr><th>30</th><th>40</th></tr></thead><tbody><tr><td>198</td><td>148+148</td><td></td><td></td></tr><tr><td>198</td><td>148+148+48</td><td></td><td></td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>148+148</td><td>0,018</td><td>0,015</td></tr><tr><td>148 + 98</td><td>148+148+48</td><td>0,019</td><td>0,016</td></tr><tr><td>148 + 148</td><td>148+148</td><td></td><td></td></tr><tr><td>148 +148</td><td>148+148+48</td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	Tykkelse på isolasjon i vegg [mm]	Tykkelse på isolasjon i tak [mm]	Vinkel på taket [°]		30	40	198	148+148			198	148+148+48			148 + 98	148+148	0,018	0,015	148 + 98	148+148+48	0,019	0,016	148 + 148	148+148			148 +148	148+148+48			
Tykkelse på isolasjon i vegg [mm]			Tykkelse på isolasjon i tak [mm]	Vinkel på taket [°]																											
	30	40																													
198	148+148																														
198	148+148+48																														
148 + 98	148+148	0,018	0,015																												
148 + 98	148+148+48	0,019	0,016																												
148 + 148	148+148																														
148 +148	148+148+48																														
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Bunnsvill og toppsvill i veggen er inkludert i veggens U-verdi. For takkonstruksjonen er det tatt hensyn til sperrer med avstand 60 cm og tykkelse 48 mm. Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m ² K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0.13 W/m ² K (for å ta hensyn til luftet kledning). Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.																															
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2																															

**Detalj:**

Møneløsning for småhustak. Utluftingen er under mønepannene.

Dato siste revisjon:

2008-04-15

**Konstruksjonsbeskrivelse**

Møneløsning for småhustak. Utluftingen er under mønepannene. Duken over mønekammen skal hindre at regn og snø driver inn på vindsperra. For å få kontinuerlig dampsperre legges en folieremse fastholdt med et bord over limtrebjelken før taksperrene monteres.

Isolasjonstykkelse er variert, se tabellen nedenfor.

Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og tak og takvinkel.

Tykkelse på isolasjon i vegg [mm]	Vinkel i taket [°]	
	120	100
250		
300	0,02	
350		
400	0,02	

Forutsetninger:

Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i taket er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. Det tatt hensyn til sperrer med avstand 600 mm og tykkelse 48 mm.

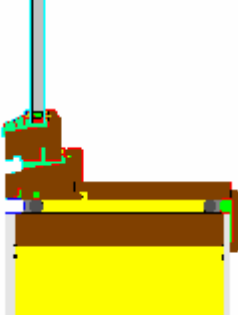
Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m²K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0,13 W/m²K (for å ta hensyn til luftingen av taket).

Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.

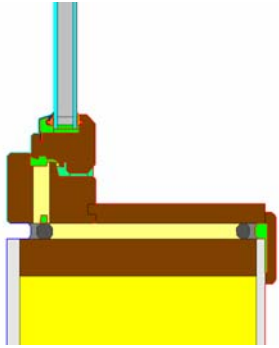
Standarder som er fulgt ved beregningen:

NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211.

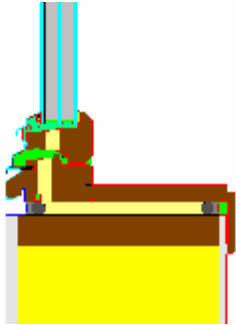


Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg og trevindu.	Dato siste revisjon 2007-12-18		
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom vindu og en bindingsverksvegg. Stender/losholt som vinduet monteres mot er inkludert i veggens U-verdi. Høyden på karm/ramme er ca. 100 mm. Dybden på karmen er 92 mm. Veggens tykkelse og lokalisering av vinduet i veggen er variert, se tabellene nedenfor.		
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Y [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og plassering av vindu i veggen.			
Avstand fra utsiden av vindusperren (gipsplate) til utvendig kant av vinduskarmen	Isolasjonstykkelse [mm]		
	198	148 + 98	148 + 148
-42 (vinduet stikker ut)		0,05	
0		0,02	
35		0,01	
85		0,02	
140		0,03	
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Losholt og stendere i veggen som omslutter vinduet er inkludert i veggens U-verdi. Som referanse benyttes vinduet og veggen simulert separat. Arealet til veggen er regnet helt inn til karmen. Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.			
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370			

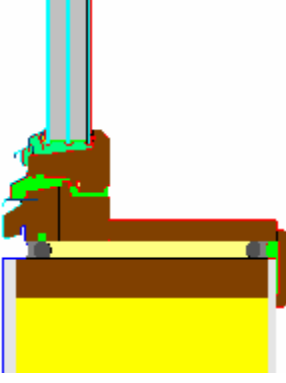


Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg og vindu med isolert karm (ikke ramme).	Dato siste revisjon 2007-12-18		
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom vindu med isolert karm og en bindingsverksvegg (rammen er ikke isolert). Tre av sidene til vinduet har isolert karm, den fjerde (underkarm) har det ikke. Høyden på karm/ramme er ca. 105 mm. Dybden på karmen er 92 mm. Veggens tykkelse og lokalisering av vinduet i veggen er variert, se tabellene nedenfor.		
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og plassering av vindu i veggen.			
Avstand fra utsiden av vindspærren (gipsplate) til utvendig kant av vinduskarmen	Isolasjonstykkelse [mm]		
	198	148 + 98	148 + 148
-42 (vinduet stikker ut)		0,056	
0		0,021	
35			
85			
140			
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Losholt og stendere i veggen som omslutter vinduet er inkludert i veggens U-verdi. Som referanse benyttes vinduet og veggen simulert separat. Arealet til veggen er regnet helt inn til karmen. Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.			
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370.			

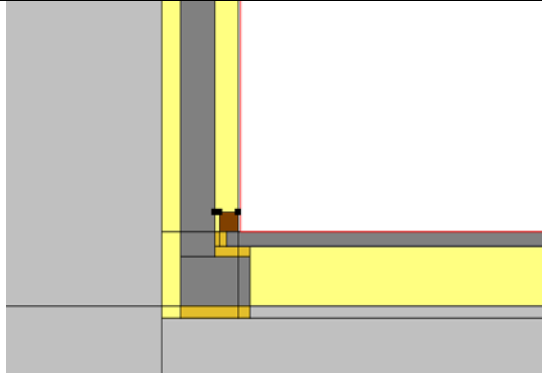


Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg og vindu med isolert karm og ramme.	Dato siste revisjon 2007-12-18		
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom vindu med isolert karm/ramme og en bindingsverksvegg. Stender/losholt som vinduet monteres mot er inkludert i veggens U-verdi. Høyden på karm/ramme er ca. 100 mm. Dybden på karmen er 105 mm. Veggens tykkelse og lokalisering av vinduet i veggen varierer, se tabellene nedenfor.		
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Y [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og plassering av vindu i veggen.			
Avstand fra utsiden av vindsperran (gipsplate) til utvendig kant av vinduskarmen	Isolasjonstykkelse [mm]		
	198	148 + 98	148 + 148
-42 (vinduet stikker ut)		0,042	
0		0,012	
35		0,008	
85			
140			
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Losholt og stendere i veggen som omslutter vinduet er inkludert i veggens U-verdi. Som referanse benyttes vinduet og veggen simulert separat. Arealet til veggen er regnet helt inn til karmen. Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.			
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370			

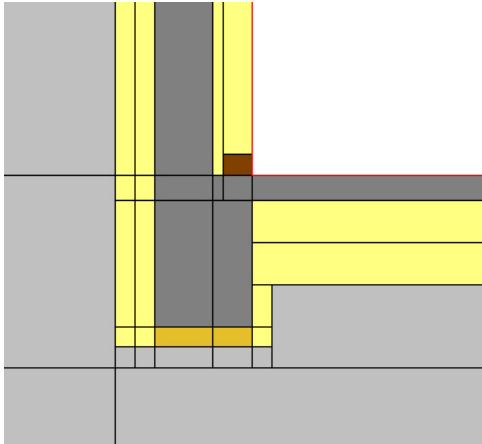


Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg og trevindu.	Dato siste revisjon 2008-02-12		
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom vindu og bindingsverksvegg. Stender/losholt som vinduet monteres mot er inkludert i veggens U-verdi. Høyden på karm/ramme er ca. 100 mm. Dybden på karmen er 105 mm. Veggens tykkelse og lokalisering av vinduet i veggen varierer, se tabellene nedenfor. Dette er samme vindu som har isolert karm/ramme, men der PUR er erstattet av tre.		
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Y [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og plassering av vindu i veggen.			
Avstand fra utsiden av vindspærren (gipsplate) til utvendig kant av vinduskarmen	Isolasjonstykkelse [mm]		
	198	148 + 98	148 + 148
-42 (vinduet stikker ut)		0,035	
0		0,007	
35		0,003	
85			
140			
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Losholt og stendere i veggen som omslutter vinduet er inkludert i veggens U-verdi. Som referanse benyttes vinduet og veggen simulert separat. Arealet til veggen er regnet helt inn til karmen. Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.			
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370			

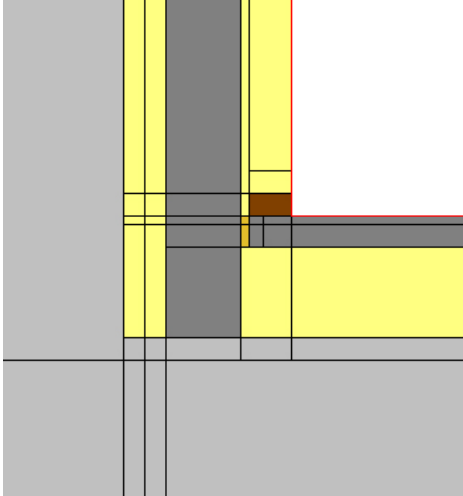


Detalj: Tilslutning mellom isolert gulvkonstruksjon og yttervegg mot terreng	Dato siste revisjon 2008-04-11																		
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom gulvkonstruksjon og plass-støpt yttervegg mot terreng. Veggen har et innvendig isolert (25+75 mm) bindingsverk. Veggen er isolert utvendig med 100 mm isolasjon. Resultatene er gyldige også for 50 mm utvendig isolasjon. Gulvisolasjonen er 250 mm. Betongveggen er 150 mm, dekketykkelsen 60 mm. På tegningen markerer lyst gul ekspandert polystyren eller mineralull, mens mørk gult er trykkfast isolasjon (ekstrudert polystyren). Mørk grått er betong, lys grått byggegrunn.																		
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]																			
	<table border="1"><thead><tr><th></th><th colspan="2">Gulvets dybde under bakken</th></tr><tr><th></th><th>0,5m</th><th>1,8m</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ingen isolasjon under sålefundament, 20 mm kuldebrobryter i dekkekant</td><td>0,11</td><td>0,09</td></tr><tr><td>50 mm isolasjon under sålefundament, 20 mm kuldebrobryter i dekkekant</td><td>0,08</td><td>0,06</td></tr><tr><td>50 mm isolasjon under sålefundament, 50 mm kuldebrobryter i dekkekant</td><td>0,06</td><td>0,05</td></tr><tr><td>50 mm isolasjon under sålefundament, 50 mm kuldebrobryter i dekkekant, 200 mm isolasjon i gulvet.</td><td>0,06</td><td>0,05</td></tr></tbody></table>		Gulvets dybde under bakken			0,5m	1,8m	Ingen isolasjon under sålefundament, 20 mm kuldebrobryter i dekkekant	0,11	0,09	50 mm isolasjon under sålefundament, 20 mm kuldebrobryter i dekkekant	0,08	0,06	50 mm isolasjon under sålefundament, 50 mm kuldebrobryter i dekkekant	0,06	0,05	50 mm isolasjon under sålefundament, 50 mm kuldebrobryter i dekkekant, 200 mm isolasjon i gulvet.	0,06	0,05
	Gulvets dybde under bakken																		
	0,5m	1,8m																	
Ingen isolasjon under sålefundament, 20 mm kuldebrobryter i dekkekant	0,11	0,09																	
50 mm isolasjon under sålefundament, 20 mm kuldebrobryter i dekkekant	0,08	0,06																	
50 mm isolasjon under sålefundament, 50 mm kuldebrobryter i dekkekant	0,06	0,05																	
50 mm isolasjon under sålefundament, 50 mm kuldebrobryter i dekkekant, 200 mm isolasjon i gulvet.	0,06	0,05																	
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%.																			
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.																			
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370																			

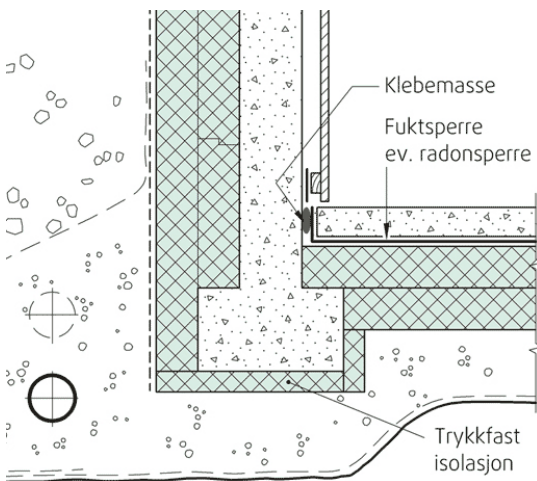


Detalj: Tilslutning mellom isolert gulvkonstruksjon og yttervegg mot terreng	Dato siste revisjon 2007-12-18															
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning støpt kjellervegg og kjellergulv støpt i ett med veggfundament. 50 eller 100 mm utvendig isolasjon og 25+75 mm innvendig isolasjon. 200 mm isolasjon i golv. Betongveggen er 150 mm, dekketykkelsen 60 mm. På tegningen markerer lyst gul ekspandert polystyren eller mineralull, mens mørk gult er trykkfast isolasjon (ekstrudert polystyren). Mørk grått er betong, lys grått byggegrunn.															
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]																
	<table border="1"><thead><tr><th></th><th colspan="2">Gulvets dybde under bakken</th></tr><tr><th></th><th>1 m</th><th>2,1 m</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ingen isolasjon under fundament</td><td>0,25</td><td></td></tr><tr><td>50 mm isolasjon under fundament</td><td>0,15</td><td>0,13</td></tr><tr><td>100 mm isolasjon under fundament</td><td>0,14</td><td>0,12</td></tr></tbody></table>		Gulvets dybde under bakken			1 m	2,1 m	Ingen isolasjon under fundament	0,25		50 mm isolasjon under fundament	0,15	0,13	100 mm isolasjon under fundament	0,14	0,12
	Gulvets dybde under bakken															
	1 m	2,1 m														
Ingen isolasjon under fundament	0,25															
50 mm isolasjon under fundament	0,15	0,13														
100 mm isolasjon under fundament	0,14	0,12														
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. Verdiene gjelder også for 100 mm utvendig isolasjon. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%.																
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.																
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370																

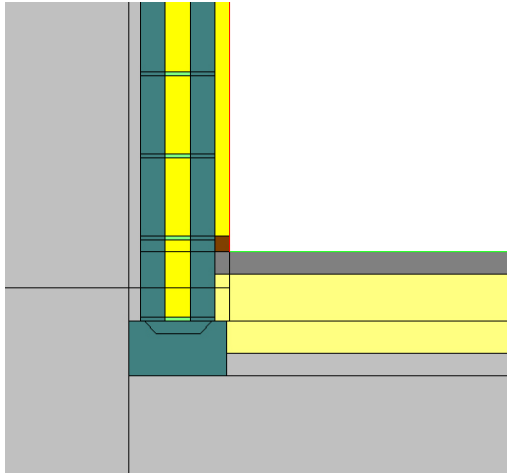


Detalj: Tilslutning mellom isolert gulvkonstruksjon og yttervegg mot terreng	Dato siste revisjon 2007-12-18															
	Konstruksjonsbeskrivelse Betongvegg uten spesielt sålefundament. Gulv og vegg er isolert med 100 mm utvendig isolasjon og 100 mm innvendig isolasjon. Betongveggen er 150 mm, dekketykkelsen er 70 mm. På tegningen markerer lyst gul ekspandert polystyren eller mineralull, mens mørk gult er trykkfast isolasjon (ekstrudert polystyren). Mørk grått er betong, lys grått byggegrunn. Kuldebrobryter er markert med mørk gult.															
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]																
	<table border="1"><thead><tr><th></th><th colspan="2">Gulvets dybde under bakken</th></tr><tr><th></th><th>0,5m</th><th>1,8m</th></tr></thead><tbody><tr><td>2 cm kuldebrobryter i golvstøp</td><td>0,11</td><td>0,10</td></tr><tr><td>5 cm kuldebrobryter i golvstøp</td><td>0,08</td><td>0,07</td></tr><tr><td>Ingen kuldebrobryter, 50 mm isolasjon over golvstøp</td><td>0,12</td><td>0,10</td></tr></tbody></table>		Gulvets dybde under bakken			0,5m	1,8m	2 cm kuldebrobryter i golvstøp	0,11	0,10	5 cm kuldebrobryter i golvstøp	0,08	0,07	Ingen kuldebrobryter, 50 mm isolasjon over golvstøp	0,12	0,10
	Gulvets dybde under bakken															
	0,5m	1,8m														
2 cm kuldebrobryter i golvstøp	0,11	0,10														
5 cm kuldebrobryter i golvstøp	0,08	0,07														
Ingen kuldebrobryter, 50 mm isolasjon over golvstøp	0,12	0,10														
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. Verdiene gjelder også for 100 mm utvendig isolasjon.																
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.																
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370																

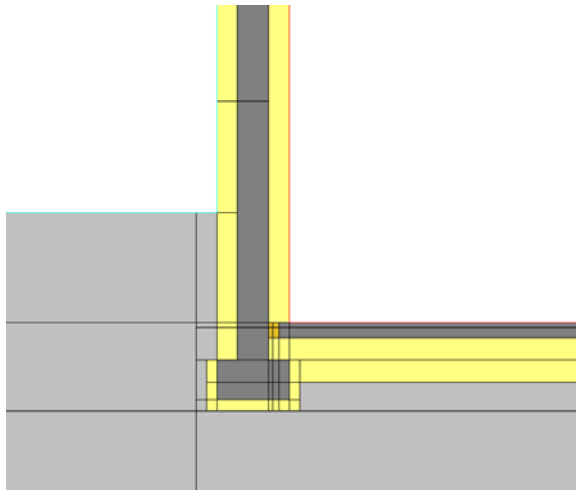


Detalj: Tilslutning mellom isolert gulvkonstruksjon og yttervegg mot terreng	Dato siste revisjon 2008-04-08												
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning kjellergulv og plass-støpt kjellervegg. All isolasjon er plassert på utsiden av betongveggen. Gulv og vegg er isolert med 200 mm isolasjon. Betongveggen er 150 mm, dekketykkelsen er 70 mm. Jf. fig. 53a i byggdetaljer 523.111.												
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]:													
	<table border="1"><thead><tr><th></th><th colspan="2">Gulvets dybde under bakken</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td>0,5m</td><td>2,1m</td></tr><tr><td>Ingen isolasjon under sålefundament</td><td>0,33</td><td>0,27</td></tr><tr><td>50 mm isolasjon under sålefundament</td><td>0,15</td><td>0,12</td></tr></tbody></table>		Gulvets dybde under bakken			0,5m	2,1m	Ingen isolasjon under sålefundament	0,33	0,27	50 mm isolasjon under sålefundament	0,15	0,12
	Gulvets dybde under bakken												
	0,5m	2,1m											
Ingen isolasjon under sålefundament	0,33	0,27											
50 mm isolasjon under sålefundament	0,15	0,12											
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. Verdiene gjelder også for 100 mm utvendig isolasjon.													
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.													
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370													

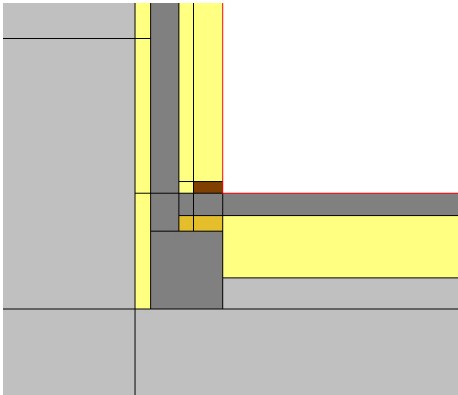


Detalj: Tilslutning mellom isolert gulvkonstruksjon og yttervegg av lettklinkerblokker mot terreng	Dato siste revisjon 2007-12-18
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom gulvkonstruksjon isolert med 250 mm isolasjon og en yttervegg med 250 mm lettklinkerblokker mot terreng. Lettklinkerblokkene har innstøpt polyuretan isolasjon. Veggens innvendige isolasjon er 50 mm. Dekketykkelsen er 70 mm.
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]	
2,1 m overdekning, 50 mm innvendig isolasjon	0,06
0,5 m overdekning, 50 mm utvendig isolasjon	0,08
2,1 m overdekning, ingen utvendig isolasjon	0,06
2,1 m overdekning, 50 mm innvendig isolasjon, 150 mm gulvisolasjon	0,05
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%.	
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.	
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370	



Detalj: Tilslutning mellom isolert gulvkonstruksjon og yttervegg mot terreng	Dato siste revisjon 2008-06-13														
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning kjellergulv og plass-støpt kjellervegg. Betongveggen er isolert med 100 mm isolasjon innvendig og utvendig. Gulv er isolert med 200 mm isolasjon. Betongveggen er 150 mm, dekketykkelsen er 70 mm. På tegningen markerer lyst gul ekspandert polystyren eller mineralull, mens mørk gult er trykkfast isolasjon (ekstrudert polystyren). Mørk grått er betong, lys grått byggegrunn.														
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ[W/mK]:															
	<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2"></th><th colspan="2">Gulvets dybde under bakken</th></tr><tr><th>0,5m</th><th>2,1m</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ingen isolasjon under såle, ingen kuldebrobryter</td><td>0,21</td><td>0,17</td></tr><tr><td>50 mm isolasjon rundt såle, ingen kuldebrobryter</td><td>0,16</td><td>0,12</td></tr><tr><td>50 mm isolasjon rundt såle, 50 mm kuldebrobryter</td><td>0,05</td><td>0,04</td></tr></tbody></table>		Gulvets dybde under bakken		0,5m	2,1m	Ingen isolasjon under såle, ingen kuldebrobryter	0,21	0,17	50 mm isolasjon rundt såle, ingen kuldebrobryter	0,16	0,12	50 mm isolasjon rundt såle, 50 mm kuldebrobryter	0,05	0,04
	Gulvets dybde under bakken														
	0,5m	2,1m													
Ingen isolasjon under såle, ingen kuldebrobryter	0,21	0,17													
50 mm isolasjon rundt såle, ingen kuldebrobryter	0,16	0,12													
50 mm isolasjon rundt såle, 50 mm kuldebrobryter	0,05	0,04													
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm.															
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.															
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370															



Detalj: Tilslutning mellom isolert gulvkonstruksjon og yttervegg mot terreng	Dato siste revisjon 2008-04-11
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom gulvkonstruksjon og en 100 mm sprøytebetongvegg. Veggens er isolert innvendig med 150 mm isolasjon og utvendig med 50 mm isolasjon. 50 mm isolasjon under dekke og såle. Dekketykkelsen er 75 mm. På tegningen markerer lyst gul ekspandert polystyren eller mineralull, mens mørk gult er trykkfast isolasjon (ekstrudert polystyren). Mørk grått er betong, lys grått byggegrunn.
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]	
1,8 m overdekning, ingen utvendig isolasjon	0,23
1,8 m overdekning, 50 mm utvendig isolasjon	0,18
0,5 m overdekning, ingen utvendig isolasjon, 50 mm kuldebrobryter i dekket	0,11
0,5 m overdekning, 50 mm utvendig isolasjon, 50 mm kuldebrobryter i dekket	0,08
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%.	
Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.	
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2, NS-EN ISO 13370	



Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg, golv på grunn og ringmur.	Dato siste revisjon 2008-05-26
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom bindingsverksvegg, golv på grunn og ringmur. Bunnsvill og stendere i veggene er inkludert i veggens U-verdi. Det er antatt at det er løs Leca ca. 1 m i framkant av ringmuren, og også under golvet (til 1,2 m under bakkenivå). Utenfor dette området er det antatt at det er sand og grus (konduktivitet på 2,0 W/mK). Isolasjonslaget på innsiden av ringmuren er 50 mm tykt. Forskjellige løsninger ved overgang ringmur/vegg er vurdert.
Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]	
Tykkelse på isolasjon utenfor ringmur [mm]	Isolasjonstykkelse vegg, 150 mm
0	0,14
50	0,02
Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Som referanse benyttes vegg og golv simulert separat. Effekten av kantisolasjon er ikke tatt med i U-verdien til golvet, men inngår i kuldebroverdien. For denne konstruksjonen er derfor også løs Leca erstattet med jord til venstre for golvet ved beregning av golvets U-verdi. Golvets U-verdi er beregnet numerisk. Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m ² K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0,13 og 0,04 W/m ² K for henholdsvis vegg (luftet kledning) og grunn. For isolasjonen utenfor ringmuren er det antatt en overgangsmotstand på 0,04 W/m ² K. Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 10456.	
Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211, NS-EN ISO 13370	



<p>Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg, golv på grunn og ringmur.</p>	<p>Dato siste revisjon 2008-05-26</p>																														
	<p>Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom bindingsverksvegg, golv på grunn og ringmur. Bunnsvill og stendere i veggene er inkludert i veggens U-verdi. Målene til konstruksjonen er vist i figuren.</p> <p>Tykkelsen på isolasjonen i vegg og golv er variert. Effekten av ekstra isolasjon (t_k) mellom betongpåstøp og ringmur er også studert. Betongen i ringmuren er på henholdsvis 100 og 150 mm.</p>																														
<p>Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]</p>																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>t mm</th> <th>Ringmur mm</th> <th>t_k mm</th> <th colspan="2">Golvisolasjon</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th>200 mm</th> <th>250 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>198</td> <td>100</td> <td>0</td> <td>0,05</td> <td>0,07</td> </tr> <tr> <td>198</td> <td>100</td> <td>50</td> <td>0,04</td> <td>0,05</td> </tr> <tr> <td>198 + 48</td> <td>150</td> <td>0</td> <td>0,06</td> <td>0,07</td> </tr> <tr> <td>198 + 48</td> <td>150</td> <td>50</td> <td>0,04</td> <td>0,06</td> </tr> </tbody> </table>	t mm	Ringmur mm	t_k mm	Golvisolasjon					200 mm	250 mm	198	100	0	0,05	0,07	198	100	50	0,04	0,05	198 + 48	150	0	0,06	0,07	198 + 48	150	50	0,04	0,06	
t mm	Ringmur mm	t_k mm	Golvisolasjon																												
			200 mm	250 mm																											
198	100	0	0,05	0,07																											
198	100	50	0,04	0,05																											
198 + 48	150	0	0,06	0,07																											
198 + 48	150	50	0,04	0,06																											
<p>Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Som referanse benyttes veggen og golvet simulert separat. Effekten av kantisolasjon er ikke tatt med i U-verdien til golvet, men inngår i kuldebroverdien. Golvets U-verdi er beregnet numerisk.</p> <p>Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m²K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0,13 og 0,04 W/m²K for henholdsvis vegg (luftet kledning) og grunn. For isolasjonen utenfor ringmuren er det antatt en overgangsmotstand på 0,04 W/m²K.</p> <p>Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 10456.</p>																															
<p>Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211, NS-EN ISO 13370</p>																															



<p>Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg, golv på grunn og ringmur.</p>	<p>Dato siste revisjon 2008-05-26</p>
	<p>Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom bindingsverksvegg, golv på grunn og ringmur. Bunnsvill og stendere i veggen er inkludert i veggens U-verdi. Målene til konstruksjonen er vist i figuren.</p> <p>Tykkelsen på isolasjonen i vegg er variert.</p>
<p>Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]</p>	
<p>Tykkelse på isolasjon i vegg [mm]</p>	<p>Kuldebroverdi</p>
<p>198</p>	<p>0,06</p>
<p>148 + 98</p>	<p>0,05</p>
<p></p>	<p></p>
<p></p>	<p></p>
<p></p>	<p></p>
<p>Forutsetninger:</p>	
<p>Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Som referanse benyttes veggen og golvet simulert separat. Effekten av kantisolasjon er ikke tatt med i U-verdien til golvet, men inngår i kuldebroverdien. Golvet U-verdi er beregnet numerisk.</p>	
<p>Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m²K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0,13 og 0,04 W/m²K for henholdsvis vegg (luftet kledning) og grunn. For isolasjonen utenfor ringmuren er det antatt en overgangsmotstand på 0,04 W/m²K.</p>	
<p>Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 10456.</p>	
<p>Standarder som er fulgt ved beregningen:</p>	
<p>NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211, NS-EN ISO 13370</p>	
<p></p>	<p></p>



<p>Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg, golv på grunn og ringmur.</p>	<p>Dato siste revisjon 2008-05-26</p>
	<p>Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro i tilslutning mellom bindingsverksvegg, golv på grunn og ringmur. Bunnsvill og stendere i veggene er inkludert i veggens U-verdi. Målene til konstruksjonen er vist i figuren.</p> <p>Tykkelsen på isolasjonen i vegg er variert. Effekten av ekstra isolasjon (t_k) mellom betongpåstøp og ringmur er også studert.</p>

Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK]

t , mm	t_k , mm	Ψ , W/(mK)
198	0	0,26
198	50	0,11
198	100	0,10
198 + 48	0	0,23
198 + 48	50	0,07
198 + 48	100	0,05

Forutsetninger:

Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Som referanse benyttes vegg og golvet simulert separat. Effekten av kantisolasjon er ikke tatt med i U-verdien til golvet, men inngår i kuldebroverdien. Golvet U-verdi er beregnet numerisk.

Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m²K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0,13 og 0,04 W/m²K for henholdsvis vegg (luftet kledning) og grunn. For isolasjonen utenfor ringmuren er det antatt en overgangsmotstand på 0,04 W/m²K.

Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 10456.

Standarder som er fulgt ved beregningen:

NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211, NS-EN ISO 13370



<p>Detalj: Tilslutning mellom bindingsverksvegg og golv på grunnen, ringmurselement.</p>	<p>Dato siste revisjon Mars 2008</p>																							
	<p>Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved ringmurselement (Rockwool ringmurselement) som overgang mellom golv på grunnen og bindingsverksvegg. I bindingsverket er det regnet med 12% treverk. Bunnsvilla er modellert som kontinuerlig i beregningene. Grunnmurselementet er 600 mm høyt og 300 mm tykt. Overkant golv og ringmurselement er regnet 200 mm over terreng.</p> <p>Veggen er regnet som 200 og 300 mm bindingsverk og golvisolasjonen 200, 250 og 300 mm., se tabellene nedenfor. Det er regnet med 50 mm markisolasjon med bredder 1,2 m, 0,6 m og uten markisolasjon. Veggen er plassert slik at vindsperre er i flukt med utside av ringmurselementet.</p>																							
<p>Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og under støpt betongplate. Virkningen av markisolasjon og kvalitet på denne er også beregnet.</p>																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tykkelse golvisolasjon (b – markisolasjon)</th> <th colspan="3">Bindingsverk tykkelse [mm]</th> </tr> <tr> <th>200</th> <th>300*)</th> <th>300, rettkant[†])</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>0,06</td> <td>0,06 (0,06)</td> <td>0,04</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>0,07</td> <td>0,07(0,06)</td> <td>0,04</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>0,07</td> <td>0,07(0,06)</td> <td>0,04</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tykkelse golvisolasjon (b – markisolasjon)	Bindingsverk tykkelse [mm]			200	300*)	300, rettkant [†])	200	0,06	0,06 (0,06)	0,04	250	0,07	0,07(0,06)	0,04	300	0,07	0,07(0,06)	0,04					
Tykkelse golvisolasjon (b – markisolasjon)		Bindingsverk tykkelse [mm]																						
	200	300*)	300, rettkant [†])																					
200	0,06	0,06 (0,06)	0,04																					
250	0,07	0,07(0,06)	0,04																					
300	0,07	0,07(0,06)	0,04																					
<p>*) tall i parentes gjelder med 50 mm tykk markisolasjon i 1200 mm bredde som vist på figur. Tilsvarende isolasjon under fundament har samme virkning.</p>																								
<p>†) ”rettkant” betyr at isolasjonen i ringmurselementet ikke har redusert tykkelse rett under bunnsvilla, men følger kant mot golvisolasjon rett opp.</p>																								
<p>Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Losholter, stendere og sviller i veggen er inkludert i veggens U-verdi. Som referanse benyttes en konstruksjon med adiabatisk flater som beskrives av en linje vertikalt fra punktet der innvendig kledning berører golvet/toppen av ringmurselementet til skjæring med horisontal linje fra terrengoverflata innover i konstruksjonen. Ringmurselementet under bakken erstattes med jord. Effekten av kantisolasjon er derfor ikke tatt med i U-verdien til golvet, men inngår i kuldebroverdien. Golvet U-verdi er beregnet numerisk.</p>																								
<p>Virkingen av markisolasjon er tatt med fordi NS-EN 13370 ikke tar med denne i beregning av varmetap til grunnen. Markisolasjon har liten virkning på kuldebroen, maksimalt en reduksjon av ψ med 0,01 W/mK.</p>																								
<p>Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.</p>																								
<p>Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211, NS-EN ISO 13370</p>																								

Vedlegg C
Byggdetaljer 471.017. Kuldebroer. Tabeller med kuldebroverdier^{*)}

^{*)} Merk at vedlegget kun er et utdrag av Byggdetaljer 471.017 (side 1 og 2 av totalt 8 sider). Hele anvisningen kan kjøpes hos SINTEF Byggforsk.



0 Generelt

01 Innhold

Dette bladet gir oversikt over en del aktuelle konstruksjoner med kuldebro og angir konstruksjonens kuldebroverdi (tilleggsvarmetap på grunn av kuldebro), Ψ . Konsekvenser av kuldebroer og hvordan man regner med kuldebroer ved dokumentasjon av energibruk i bygninger er behandlet i Byggdetaljer 471.015.

02 Bakgrunn for tabellene

021 *Kuldebroverdiene* varierer med kuldebrobryter og isolasjon i konstruksjonen rundt kuldebroene. Verdiene er hovedsakelig beregnet ved hjelp av et beregningsprogram for todimensjonal varmestrøm [921]. Beregningsmåte, materialverdier og overgangstall er i størst mulig grad hentet fra NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 6946 og Byggdetaljer 471.010. For konstruksjoner mot grunnen er beregningsmetoden som er angitt i NS-EN ISO 13370 Annex A, benyttet. Ved utregning av kuldebroverdiene er det forutsatt at man ved beregning av bygningens energibehov benytter innvendige mål, slik som angitt i fig. 021. For etasjeskillere og innvendige skillevegger regnes tilsluttende veggens arealer inn til senter av etasjeskiller og skillevegg. Veggene over og under etasjeskiller benyttes som referanse. For vinduer benyttes ytre kant av utvendig karm som grense, det vil si veggens areal regnes inn til denne grensen.

022 *Treandel i bindingsverksvegger*. Varmekonduktiviteten for de isolerte bindingsverksveggene er beregnet med en treandel på 12 %. Der ikke annet er oppgitt, er det forutsatt 36 mm tykke topp- og bunnsviller, og disse er tatt med i beregningsmodellen. Beregninger viser at tilnærmet samme kuldebroverdi kan benyttes for treandeler mellom 9 og 15 %. Samme kuldebroverdi kan benyttes uavhengig av om deler av bindingsverket er krysslågt på innvendig side eller ikke.

023 *Varmeisolasjon*. Det er forutsatt at varmekonduktiviteten til isolasjonen er $0,037 \text{ W}/(\text{mK})$ både for kuldebrobryter og ellers, hvis ikke annet er angitt.

Generelt er symbolene t og t_k benyttet i figurene, der t er samlet isolasjonstykkelse og t_k er isolasjonstykkelse for kuldebrobryter.

024 *Avvik fra figurene*. Merk at for noen av detaljene vil små avvik fra forutsetningene som er angitt i figurene, inkludert geometri, kunne føre til store forskjeller i kuldebroverdi. Egne beregninger er da nødvendig.

03 Henvisninger

Standarder:

NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data

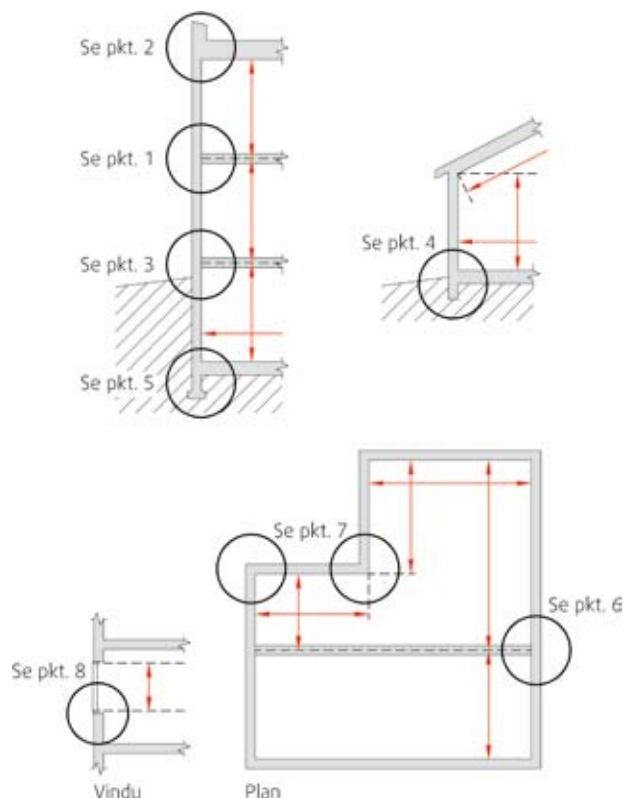


Fig. 021
Oversikt over aktuelle kuldebroer og angivelse av innvendig mål

NS-EN ISO 6946 Bygningsskomponenter og -elementer – Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient – Beregningsmetode

NS-EN ISO 10211-1 Kuldebroer i bygningsskonstruksjoner – Varmestrømmer og overflatetemperaturer – Del 1: Generelle beregningsmetoder

NS-EN ISO 13370 Bygningers termiske egenskaper – Varmeoverføring via grunnen – Beregningsmetode

Byggdetaljer:

471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningssmaterialer

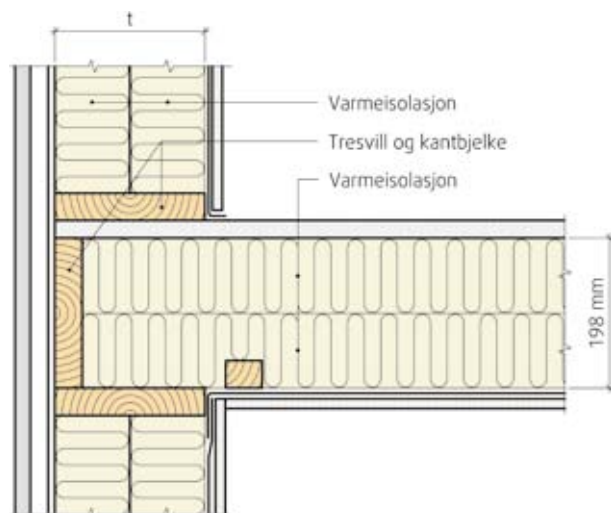
471.015 Kuldebroer. Vurdering av konsekvenser og dokumentasjon av energibruk

471.016 Kuldebroer. Metoder for å bestemme kuldebroverdi

1 Tilslutning mellom yttervegg og etasjeskiller

11 Yttervegg av bindingsverk av tre mot etasjeskiller

111 Etasjeskiller av trebjelkelag



Kuldebroverdi, Ψ (W/(mK)), er tilnærmet lik 0 for vegger med isolasjonstykkelser på 98–296 mm.

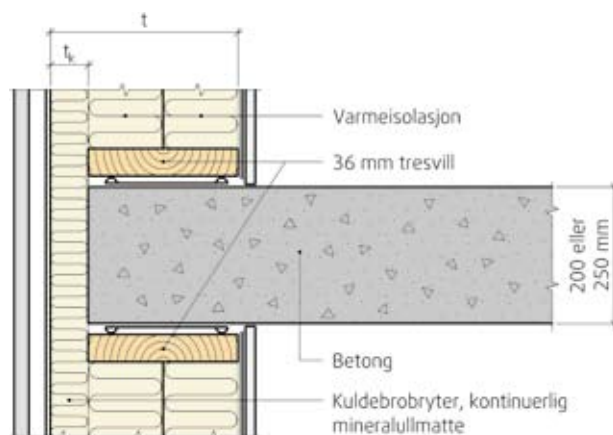
112 Etasjeskiller av betong, porebetong- og lettklinkerelementer



Tabell 112
Kuldebroverdier, Ψ (W/(mK))

t mm	t_k mm	Dekketype og -tykkelse (mm)					
		Betongdekke		Porebetong-element		Lettklinker-element	
		200	250	200	250	200	250
98	50	0,07	0,08	0,00	0,00	0,02	0,02
148	50	0,11	0,12	0,01	0,01	0,04	0,04
198	50	0,13	0,15	0,02	0,02	0,05	0,06
198	100	0,05	0,06	0,01	0,01	0,02	0,02
148 + 98	50	0,15	0,16	0,02	0,02	0,05	0,06
148 + 98	100	0,07	0,08	0,01	0,01	0,03	0,03
148 + 148	50	0,16	0,18	0,02	0,03	0,05	0,06
148 + 148	100	0,08	0,09	0,01	0,01	0,03	0,03
148 + 148	150	0,04	0,05	0,01	0,01	0,02	0,02

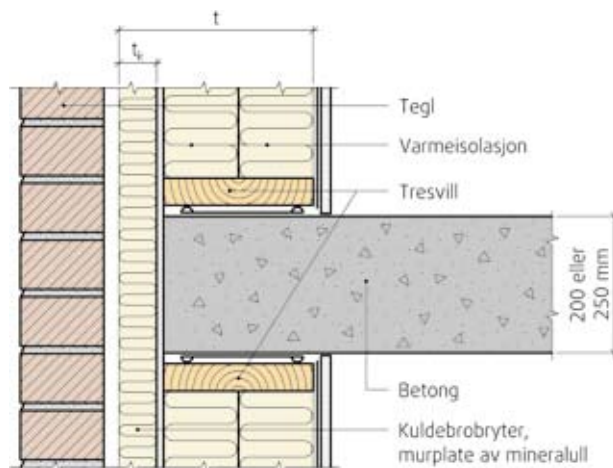
113 Etasjeskiller av betong og utvendig kontinuertlig tilleggsisolasjon



Tabell 113
Kuldebroverdier, Ψ (W/(mK))

t mm	t_k mm	Dekketykkelse	
		200 mm	250 mm
148	50	0,09	0,10
198	50	0,11	0,12
198	100	0,04	0,04
248	50	0,12	0,14
248	100	0,05	0,06
298	100	0,06	0,07

114 Etasjeskiller av betong og utvendig kontinuertlig tilleggsisolasjon med teglforblending



Tabell 114
Kuldebroverdier, Ψ (W/(mK))

t mm	t_k mm	Dekketykkelse	
		200 mm	250 mm
148	50	0,07	0,10
198	50	0,09	0,11
198	100	0,03	0,05
248	50	0,10	0,12
248	100	0,04	0,06
298	100	0,05	0,07

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er det tredje største byggforskningsinstituttet i Europa. Vi har rom både for store forskningssatsinger og for tett oppfølging av de mange små bedriftene. Vårt mål er bedre produktivitet og økt kvalitet i det bygde miljø.

SINTEF Byggforsk er Norges ledende formidler av forskningsbasert kunnskap til byggenæringen. Våre publikasjoner inneholder tilrettelagte erfaringer og resultater fra praksis og forskning. Vi utgir Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.