

KULDEBROER

og deres indflydelse på klimaskærmens varmetab

Støttet af Grundejernes Investeringsfond

GI GRUNDEJERNES
INVESTERINGSFOND

Projektet er støttet af Grundejernes Investeringsfond

Titel: Kuldebroer og deres indflydelse på klimaskærmens varmetab

Forfattere:

MOE A/S

Mads Hulmose Wagner, Grubpeleder | Specialkompetencer, M.Sc. Energi og indeklima
Steffen E. Maagaard, Koncernkompetencechef | Energidesign & Indeklina, M.Sc. Energi og indeklima

Arkitema Architects

Amdi Schjødt Worm, Senior consultant - Sustainability, M.Sc. Eng. Energy and indoor comfort

NCC NCC Danmark A/S

Jens Thamdrup, Sektionschef
Peter Weitzmann, Konceptudviklingschef, MSc(Eng), Ph.d., DGNB konsulent

VIA Byggeri, Energi & Miljø, Center for forskning & udvikling

Maria Gaardsted Kamper, Adjunkt, M.Sc.Eng. Energi og indeklima
Malene Elmbæk Knudsen, Lektor, Bygningskonstruktør, DGNB-Konsulent

Redaktion:

VIA Byggeri, Energi & Miljø, Center for forskning & udvikling

Maria Gaardsted Kamper, Adjunkt, M.Sc.Eng.
Andrea Mortensen, Adjunkt, Ph.d., Cand.polyt.arch

Arkitema Architects

Einar Sigthorsson, Arkitekt MAA, Arkitema Architects

Udgivelsesår: 2018

Alle billeder, grafik, skitser og alt udarbejdet projektmateriale er udarbejdet af projektgruppen, hvis ikke andet er nævnt.

Forord

Der er i disse år massivt fokus på at sikre retvisende energiberegninger, som afspejler det reelle energiforbrug i den opførte bygning. Gennem bygningsreglementet ses skærpede krav til funktionsafprøvninger af nogle af de mest energiforbrugende bygningsinstallationer, herunder ventilation og belysningsanlæg. Disse krav gælder også for renovering af eksisterende bygninger, hvor der etableres nye tekniske installationer.

Energiforbruget til opvarmning af vores bygninger udgør dog fortsat en væsentlig andel af det samlede energiforbrug. I 2017 udgjorde det gennemsnitlige energiforbrug til rumopvarmning og opvarmning af varmt brugsvand mere end 80% af det samlede energiforbrug per husholdning (Energistatistik 2017, Energistyrelsen).

Denne publikation belyser samt eksemplificerer kuldebroers indflydelse på klimaskærmens varmetab og har til hensigt at inspirere og understøtte håndteringen af kuldebroer i byggeriets praksis.

Hvordan er publikationen blevet til?

Publikationen er udviklet over perioden april 2017 – oktober 2018 med følgende hovedfaser:

- Kortlægning af typiske linjetab og kuldebroer, som er karakteristiske for den måde vi bygger nyt og renoverer på i dag, samt granskning af den tværfaglige samarbejdsproces som finder sted ved den praktiske håndtering af kuldebroer.
- Analyse af udvalgte byggetekniske detaljeløsninger inkl. kuldebroer, transmissionstab, økonomisk vurdering heraf samt tværfaglig samarbejdsproces.
- Udvikling igennem evaluering af parametervariationer inkl. økonomisk samt procesmæssig perspektivering.
- Formidling igennem workshops, konferencer, faglige netværksmøder, fagblade etc. som er udført parallelt med undersøgelserne igennem hele projektperioden.

Hvem står bag?

Publikationen er udarbejdet i et tæt samarbejde mellem MOE A/S, Arkitema Architects, NCC Danmark A/S samt VIA Byggeri, Energi & Miljø Center for forskning & udvikling.

Publikationen er udarbejdet af en projektgruppe, som består af:

- Mads Hulmose Wagner, MOE A/S
- Steffen E. Maagard, MOE A/S
- Amdi Schjødt Worm, Arkitema Architects
- Peter Kjeldsen, Arkitema Architects

- Jens Thamdrup, NCC Danmark A/S
- Peter Weitzmann, NCC Danmark A/S
- Malene Elmbæk Knudsen, VIA Byggeri, Energi & Miljø, Center for forskning & udvikling
- Andrea Mortensen, VIA Byggeri, Energi & Miljø, Center for forskning & udvikling
- Maria Gaardsted Kamper, VIA Byggeri, Energi & Miljø, Center for forskning & udvikling

Hvem fortjener en tak?

Grundejernes Investeringsfond skal have en særlig tak for deres støtte til projektet, som har muliggjort tilblivelsen af nærværende publikation.

Projektgruppen retter også en tak til den følgegruppe, som har været tilknyttet projektet og som aktivt har bidraget konstruktivt til såvel indhold som tilrettelæggelse af publikationen:

- Allan Hansen, Energistyrelsen
- Gert Johansen, Konstruktørforeningen
- Graves Simonsen, Bygherreforeningen
- Jørgen Rose, SBI, Aalborg Universitet
- Lau Raffnsøe, Green Building Council Denmark
- Majbritt Juul, Foreningen af Rådgivende Ingeniører
- Niels Strange, Dansk Byggeri
- Niels Varming, Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen
- Peter Andreas Sattrup, Danske Arkitektvirksomheder
- Søren Meyer, Grundejernes Investeringsfond

Projektgruppen vil også takke de aktører fra byggebranchens praksis, som har deltaget i projektets to workshops og bidraget til at underbygge udfordringerne ved håndtering af kuldebroer:

Ekolab, Dansk Energi Management & Esbensen A/S, HS Hansen, LB Consult, Midtconsult, Isover, Convia, Knauf, Søren Jensen, Cortias, Niras, Glasfakta, Rockwool, Onse-miro DK, Holck-energi, MOE A/S, Belle-energie, MT Højgaard, Rambøll, LKH Rådgivning, Energitjenesten.

Til sidst rettes et særligt tak til seniorforsker Jørgen Rose fra SBI, Aalborg Universitet, som har ydet en stor indsats ved faglig kommentering i udviklingen af denne publikation.

December 2018

Indholdsfortegnelse

Nomenklatur.....	7
1. Indledning	9
2. Introduktion til problemstillingen	11
3. Krav & anbefalinger	15
4. Viden om kuldebroer	19
5. Kortlægning - nybyggeri	25
6. Analyse af udvalgte eksempler - nybyggeri	31
7. Kortlægning - renovering	81
8. Analyse af udvalgte eksempler - renovering	89
9. Tværfaglige udfordringer i processen	125
10. Sammenfatning & perspektivering	141
Appendiks	145

Nomenklatur

Symbol	Beskrivelse	Enhed
Ψ_f	Linjetab (fundament)	W/m K
Ψ_k	Linjetab for lineær kuldebro	W/m K
Ψ_{sa}	Linjetab (samlinger)	W/m K
χ_k	Transmissionskoefficient for punktkuldebro	W/K
U-værdi	Transmissionskoefficient	W/m ² K

1. Indledning

Indledende undersøgelser peger på, at nutidige byggetekniske løsninger ofte resulterer i et langt større varmetab end forventet og at en væsentlig andel af dette kan skyldes bidraget fra linjetab samt varmetab fra kuldebroer.

Bygningsreglementets skærpede energikrav udfordrer håndteringen af kuldebroer i praksis, hvor uklare kravspecifikationer til dokumentation, forældede erfaringstal og metoder sammenholdt med stigende kompleksitet i byggeprincipper tilskynder fokus på den tværfaglige samarbejdsproces.

Endvidere er det en udbredt misforståelse, at kuldebroer som følge af den store fokus på energioptimering er blevet reduceret tilsvarende.

Derfor er der behov for en revision af oplysningsgrundlaget i byggebranchen, herunder opdateret viden om kuldebroers reelle betydning for klimaskærmens varmetab samt potentielle faldgruber i den tværfaglige samarbejdsproces.

Formål og målgrupper

Projektets overordnede formål er at bidrage til udviklingen af et fælles grundlag for, hvordan kuldebroer kan og bør håndteres i byggeriets praksis samt skabe debat i branchen ved at sætte kuldebroer på dagsordenen.

Publikationen skal ses som et oplysningsværktøj, hvis formål er at informere byggeriets praksis om kuldebroers reelle betydning for bygningers varmetab, formidlet

igennem en række aktuelle og tidssvarende byggetekniske eksempler.

Publikationen skal også ses som et inspirationsværktøj til dialogen mellem byggeriets forskellige parter i den tværfaglige samarbejdsproces:

- Mellem bygherre og rådgivere i forhold til kravspecifikation og øget fokus på kuldebroer allerede fra projektets begyndelse
- Mellem faggrupper i projekteringsprocessen ved udarbejdelse af byggetekniske detaljeløsninger for at sikre en mere holistisk og tværfaglig tilgang ved minimering af kuldebroer
- Mellem projekterende og udførende i forhold valg af bygbare løsninger samt øget fokus på de afledte omkostninger ved energibesparende tiltag

Publikationen har ligeledes til hensigt at oplyse og inspirere politiske og lovgivende instanser om byggetekniske konsekvenser ved gældende lovgivning.

Derudover skal projektets resultater og konklusioner kunne anvendes til vidensdeling på byggeriets uddannelser.

Publikationen er **ikke** et projekteringsværktøj, da enhver byggeteknisk detaljeløsning er projektspecifik, hvorfor det frarådes ukritisk at genbruge de anviste eksempler i egne konkrete projekter. Således kan projektgruppen heller ikke stilles til ansvar for brugen af publikationens eksempler og der bør i alle henseender tages udgangspunkt i det pågældende projekt.



Projektets afgrænsning

Projektets beregninger og analyser er udført udelukkende med afsæt i den energimæssige virkning af kuldebroer, hvorfor eventuelle fugtmæssige problemstillinger ikke er behandlet dybdegående i denne kontekst.

Stedvis i publikationen og særligt ved renovering henvises til, at der kan forekomme fugtmæssige forhold, som kan have indflydelse på den endeligt valgte detaljeløsning. Derfor bør der rettes opmærksomhed mod, at resultaterne fra dette projekt ikke kan stå alene, men bør inddrages holistisk og med forbehold for eventuelle fugtmæssige problemstillinger.

Valget af konstruktionssystemer til de viste eksempler vedr. nybyggeri er afgrænset til sandwichelementer, lette trækonstruktioner samt tyndpladeprofiler for at give et bredt og repræsentativt tværsnit af nutidig byggepraksis.

Curtain Walls systemer er et meget produktspecifikt facadesystem og håndteres ikke konkret i nærværende publikation. I praksis vil det typisk være producenten, som leverer dokumentationen af elementernes U-værdier.

Valget af de viste eksempler vedr. renovering er afgrænset i forhold til at adressere almindelige og typiske problemstillinger ved nutidige renoveringsprojekter.

Når der i publikationen henviser til bygningens transmissionstab, menes der transmissionstabet eksklusiv vinduer og døre, hvis ikke andet er angivet.

Enfamiliehuse, dobbelthuse, sommerhuse samt carporte er ikke behandlet i dette projekt.

Læsevejledning

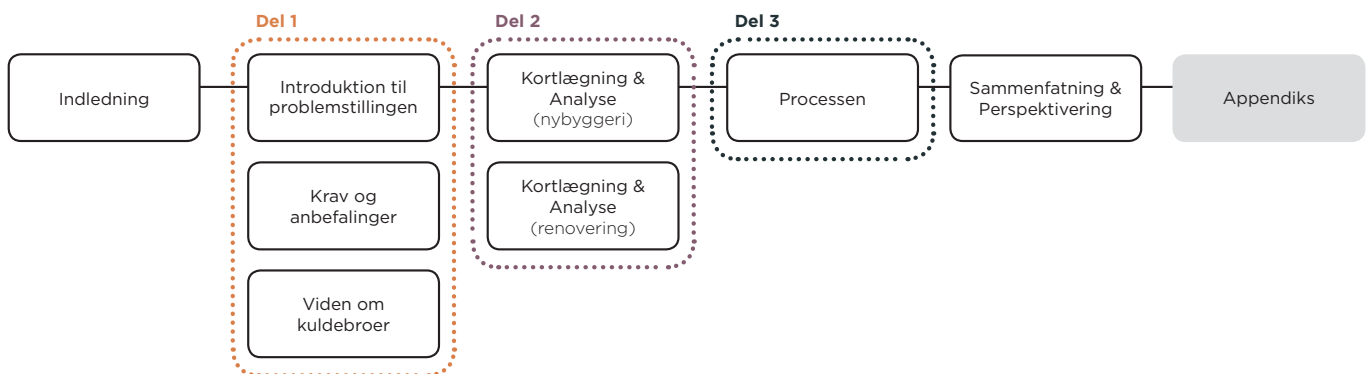
Publikationen er inddelt i tre hovedafsnit:

Den første del er oplysende og informativ på et overordnet niveau, hvor problemstillingerne introduceres og de gældende krav og begreber uddybes. Afsnittet giver en generel indflyvning til grundlæggende viden om kuldebroer og sammenhængen til typiske konstruktive principper. Gældende lovkrav, normer og vejledninger uddybes med henblik på at bidrage til en større ensartethed i branchens tilgang til problemstillingerne. Uddrag af publikationen kan dog ikke stå alene og skal derfor ses i sammenhæng med helheden af gældende lovkrav, normer og vejledninger.

Den anden del er oplysende og informativ på et dybdegående niveau, hvor kuldebroers reelle betydning illustreres ved udvalgte og tidssvarende eksempler. Denne del har et faneblad i højre side, således at man nemt vil kunne orientere sig blandt de mange eksempler. Eksemplerne som er anvendt i publikationen kommer fra projektgruppens egne projektkataloger og i nogle tilfælde med mindre tilpasninger.

Den tredje og afsluttende del belyser håndteringen af kuldebroer set fra et procesmæssigt perspektiv herunder relationen til forskellige fagdiscipliner igennem byggeriets faser. Afsnittet afsluttes med en perspektivering med henblik på at inspirere til det fremadrettede arbejde med kuldebroer i byggeriets praksis.

Publikationens opbygning



2. Introduktion til problemstillingen

Igennem de sidste 10 år har byggebranchen haft stor fokus på bæredygtighed og energibesparelser, både i forhold til nybyggeri og til renoveringsprojekter. Bygningsreglementets energikrav er blevet skærpet flere gange og isoleringsmængderne er følgelig steget støt i samme periode med henblik på at reducere bygningers varmetab yderligere.

En udbredt misforståelse i denne sammenhæng er, at når der isoleres mere, må kuldebroerne tilsvarende blive mindre i både størrelse og antal. Faktum er, at kuldebroers indflydelse på klimaskærmens varmetab er

langt større i dag end for 10 år siden. Imens mængden af isolering i de primære konstruktioner gradvist er blevet forøget, er kuldebroerne typisk uforandret. Kuldebroernes relative betydning for bygningers varmetab er blevet markant større.

I det følgende afsnit ses der nærmere på, hvilke faktorer og omstændigheder der kan være medvirkende til den overordnede problemstilling; hvorfor kuldebroer har så stor indflydelse på klimaskærmens varmetab.



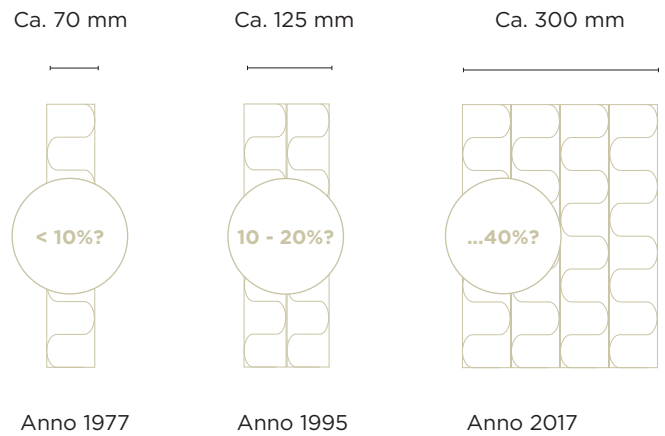
Forældede erfaringstal

Dokumentationsprocessen i forhold til kuldebroer for et større og eller komplekst byggeri kan være relativt tung og omkostningsfuld, hvorfor det tidligere har været udbredt praksis at bruge erfaringstal i forhold til estimering af kuldebroer.

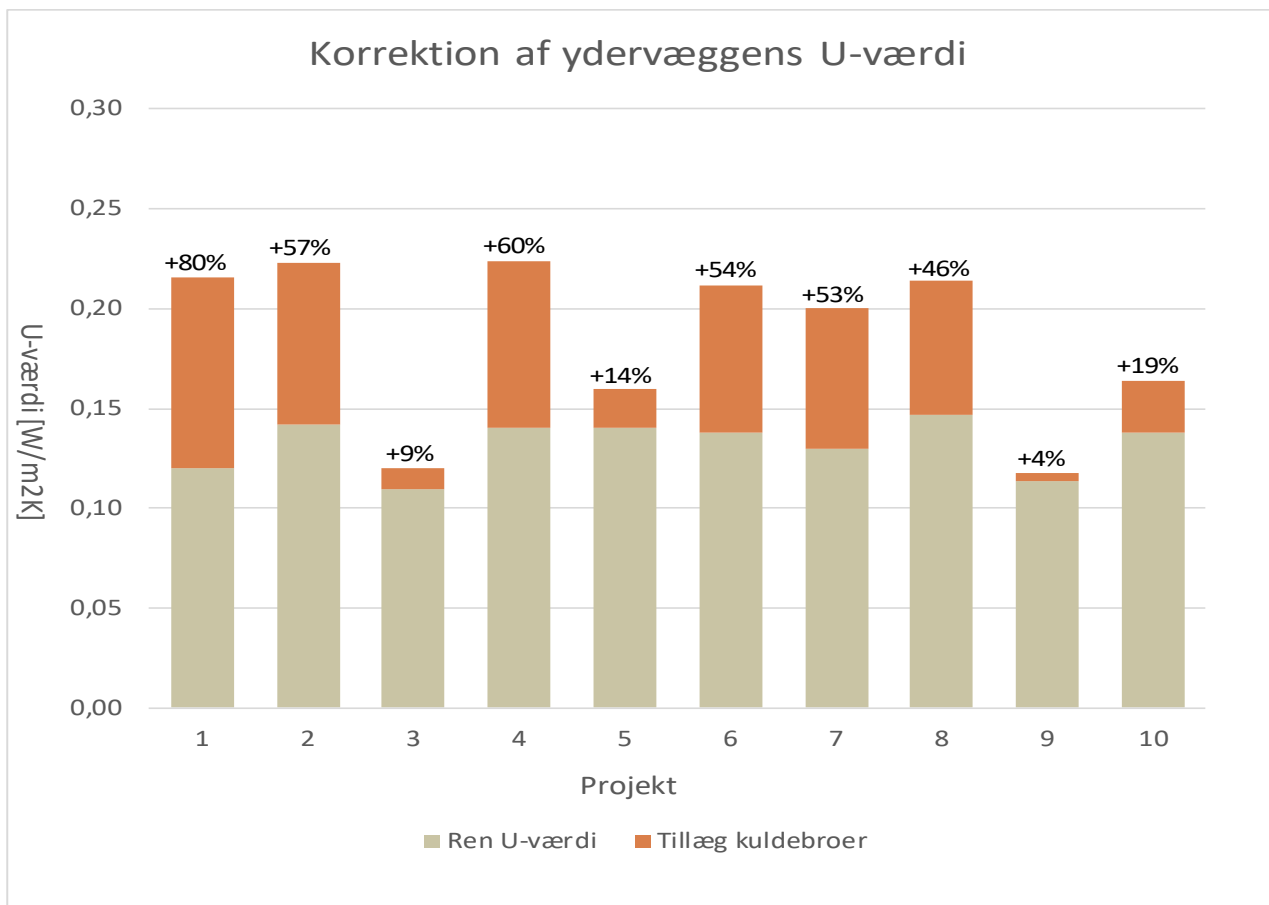
Før 2008, hvor energirammeberegningerne blev en obligatorisk del af bygningsreglementet, udgjorde den relative andel af varmetabet fra kuldebroer skønsmæssigt ca. 10-20 % af bygningsdelenes samlede U-værdi.

Siden bygningsreglementets skærpede energikrav, herunder reduktion af bygningers varmetab, er den relative andel af varmetabet fra kuldebroer forøget markant som følge af de forøgede isoleringstykkelser. Erfaringstallene på 10-20 % er forældede og dermed en undervurdering af kuldebroernes bidrag - aktuelle eksempler viser, at i nogle tilfælde skal U-værdierne forøges med op til 80 %.

Af figur 2 fremgår de korrigerede U-værdier for de primære bygningsdele for 4 typiske etageejendomme. Her viser det sig, at kuldebroerne giver anledning til store korrektioner af U-værdierne med forøgelser på op til 80 %.



Figur 1. Kuldebroers relative andel af transmissionstabet ift. isoleringstykkelse.



Figur 2. Eksempler på korrektion for kuldebroer i de primære konstruktioners U-værdier.

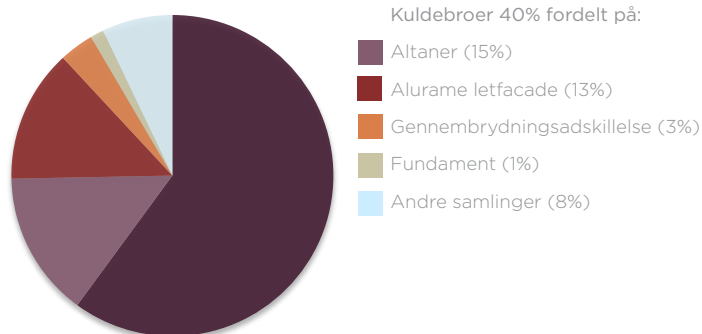
Uklare krav til forventet dokumentationsniveau & valgte estimeringsmetoder

Afhængig af det enkelte projekts kompleksitet og konstruktioner kan det være både vanskeligt og særdeles tidskrævende at dokumentere det samlede omfang af varmetab fra kuldebroer korrekt ved detaljerede numeriske beregninger. De færreste projekter har afsat tilstrækkeligt tid og økonomi forbundet med en sådan dokumentation, hvorfor der i mange tilfælde anvendes én eller flere af følgende estimeringsmetoder:

- Forsimplede beregninger
- Tilnærmede værdier fra tabelopslag
- Erfaringsmæssige antagelser om kuldebroernes størrelser

De indledende undersøgelser har vist, at der kan være meget store forskelle i resultaterne for kuldebroernes betydning afhængig af, hvilken estimeringsmetode der benyttes. Undersøgelserne indikerer, at man ved de forsimplede beregninger risikerer at underestimere kuldebroernes betydning væsentligt. Anvendelsen af forsimplede beregninger burde sikre en konservativ betragtning af kuldebroernes størrelser, men der tegner sig et billede af, at jo mere nøjagtigt der regnes på kuldebroerne, des større bliver det beregnede energitab gennem konstruktionen. Med andre ord svækkes incitamentet for at regne detaljeret på kuldebroernes bidrag, når alternativet både er nemmere, billigere og giver et meget mere optimistisk resultat i forhold til det forventede varmetab.

Der er uklarhed omkring forventet dokumentationsniveau samt hvilken estimeringsmetode, der bør benyttes i den givne situation. Bygningsreglementet henviser til DS418 Beregning af bygningers varmetab (DS418) for bestemmelse af det dimensionerende transmissionstab. Her angives simple og praktisk anvendelige metoder



Figur 3. Eksempler på korrektion for kuldebroer i de primære konstruktioners U-værdier.

samt tabelopslag for typiske linjetab og varmetab fra kuldebroer. DS418 stiller dog også krav til, at brugeren har den fornødne tekniske indsigt og kan derfor ikke bruges ukritisk. I de konkrete tilfælde, hvor det kan påvises, at beregningsmetoden ikke giver en rimelig tilnærmelse til de virkelige forhold, bør mere detaljerede metoder tages i anvendelse.

Hvis de forsimplede beregninger og tabelopslag ikke medtager kuldebroernes faktiske betydning på tilstrækkelig vis, har man ikke nødvendigvis opfyldt dokumentationskravet til bygningers transmissionstab.

Det kan dog være relativt vanskeligt at vurdere, hvornår de forsimplede beregninger og tabelopslag er anvendelige henholdsvis hvornår et projekt fordrer mere detaljerede beregninger.



Manglende kontrol af kuldebroernes bidrag til varmetabet

Ved projektering og udførelse af en bygning er der, som udgangspunkt, to muligheder for at kontrollere kuldebroernes bidrag til bygningens varmetab:

- Ved myndighedernes stikprøvekontrol
- Ved energimærkning

Bygningsreglementet foreskriver, at kommunalbestyrelsen skal foretage stikprøvekontrol i 10% af alle byggesager, hvor kommunalbestyrelsen har meddelt ibrugtagningstilladelse efter BR18 (BR18 §1-§47). Dette gælder for nybyggeri samt renoveringsprojekter (ombygning eller ændret anvendelse). Ved stikprøvekontrollen kontrolleres dokumentationen for overholdes af f.eks. energikrav. Når en byggesag udtages til stikprøvekontrol, er det den samlede tekniske dokumentation, der er indsendt ved færdigmelding, der skal kontrolleres herunder adgangsforhold, indeklima, fugt, energi mv. Stikprøvekontrollen skal sikre, at bygningens tekniske forhold er tilstrækkeligt dokumenteret og at bygninger er opført i overensstemmelse med gældende bygningsreglement.

Hvis stikprøvekontrollen fører til en lovliggørelsessag, vil kommunalbestyrelsen rette et påbud til bygningsejeren om at udbedre ulovlige forhold.

I de resterende 90 % af de byggesager, hvor der ikke laves stikprøvekontrol, kan der forekomme afvigelser i forhold til gældende lovkrav vedrørende kuldebroernes bidrag til varmetabet.

I henhold til Lovbekendtgørelse nr. 636 af 19. juni 2012 samt Bekendtgørelse nr. 1027 af 29. august 2017, er der krav om energimærkning af bygninger ved:

- Salg eller udleje
- Nybyggeri
- Offentlige bygninger over 250 m²

Nyopførte bygninger skal energimærkes, før de bliver taget i brug og gennemgås af en energikonsulent, som vurderer bygningens energitilstand.

Ovenstående kontroller finder sted relativt sent i byggeprocessen og hvor byggeriet allerede er opført, hvorfor det kan være vanskeligt at finde alternative og byggetekniske mulige løsninger til udbedring af kuldebroer. Derudover er der stor risiko for afvigelser, i forhold til

de gældende lovkrav vedrørende kuldebroers bidrag til varmetabet, i de resterende 90 % af byggesager uden stikprøvekontrol.

Den manglende kontrol og usikkerheden omkring de reelle konsekvenser har sandsynligvis betydning for kvaliteten af det udførte arbejde i håndteringen af kuldebroer i byggepraksis.

Foruden den lovmæssige kontrol sikrer mange bygherrer sig i dag også ved en 3. part verificering ved en professionel bygherrerådgiver. Det kan dog i mange tilfælde være vanskeligt og tidskrævende at kontrollere, hvorvidt kuldebroerne er medtaget korrekt.

Skærpet lovgivning udfordrer nutidig byggepraksis og vice versa

I de indledende undersøgelser er der indsamlet data fra en række opførte projekter, hvor dokumentationen af varmetabet fra kuldebroer er baseret på numeriske beregninger. Her viser resultaterne med tydelighed, at kuldebroerne har en dominerende effekt på transmissionstabt – også selvom der har været fokus på energi-optimerede løsninger i de tidlige faser.

Resultaterne viser endvidere, at varmetabet fra kuldebroer generelt udgør ca. 30-40 % af det samlede transmissionstab og i flere tilfælde ligger på grænsen af det maksimalt tilladte i forhold til gældende lovkrav, både i forhold til det dimensionerende transmissionstab for bygningen som helhed såvel som minimumskrav til U-værdier for individuelle konstruktioner. Problematikken er tydelig ved nybyggeri og særligt ved renovering, hvor kravene til mindste varmeisolering for de enkelte bygningsdele er skærpet yderligere.

I figur 2 bør det bemærkes, at især terrændækket ofte kan være udfordret i forhold til at overholde bygningsreglementets krav til mindste varmeisolering.

Opsummering

Nærværende publikation ønsker at belyse ovennævnte problemstillinger ved en detaljeret undersøgelse af varmetabet fra kuldebroer for et repræsentativt udsnit af byggepraksis i dag og i relation til den procesmæssige håndtering.



3. Krav og anbefalinger

Følgende afsnit giver et overblik over myndighedskrav til håndtering af kuldebroer i bygninger, herunder krav og vejledninger i Bygningsreglementet 2018 (BR18) fra Trafik, Bygge- og Boligstyrelsen (TBST) samt gældende standarder, der relaterer sig til emnet. I tilfælde af der sker ændringer af vejledninger til myndighedskrav, er det læserens eget ansvar at ajourføre sig med evt. ændringer i forhold til de krav, der er angivet i dette afsnit.

Som projekterende, udførende eller bygherre kan det være en kompleks opgave at gennemskue hvilke konkrete lovkrav der er til kuldebroer. BR18 stiller både generelle og specifikke krav til kuldebroer, som er samlet i kapitel 11 Energiforbrug, vist i figur 4.

I det følgende vil krav til og vejledninger vedr. kuldebroer i BR18 blive gennemgået for nybyggeri hhv. renovering.

§ 255 Energiforbrug

Når bygninger projekteres og udføres, skal der tages højde for eventuelle kuldebroer, således at de ikke giver anledning til en væsentlig forøgelse af bygningens varmetab. Hvis kuldebroer ikke kan undgås, skal der gøres en særlig indsats for at minimere størrelsen på kuldebroerne med henblik på at minimere risici for fugtophobning i konstruktionerne.

Ved projektering skal varmetabet fra kuldebroerne i en bygning altid medregnes i energirammeberegningen (Be18), herunder linjetab samt varmetab fra øvrige kuldebroer.

§§ 255 - 256	Energiforbrug
§ 257	Generelle mindstekrav til klimaskærmen (nybyggeri)
§§ 259 - 260	Energirammer
§ 264	Krav ved brug af energiramme
§§ 267 - 270	Energikrav ved ændret anvendelse
§§ 271 - 273	Energikrav ved tilbygninger
§§ 274 - 279	Energikrav ved ombygning og udskiftning af bygningsdele
§§ 280 - 282	Renoveringsklasser for eksisterende bygninger

Figur 4. Oversigt over krav vedrørende kuldebroer i BR18.

§ 256 Energiforbrug

Ved opmåling af transmissionsarealer til energirammeberegninger, skal DS 418 Beregning af bygningers varmetab benyttes. Ved beregning af transmissionstab samt varmetabsramme skal DS 418 ligeledes anvendes. Dette er obligatorisk for at sikre, at beregningerne gennemføres på en ensartet måde, hvor materialernes isoleringsevne bestemmes efter relevante DS/EN standarder.

Endvidere skal den energimæssige virkning af kuldebroer medtages ved dokumentation af U-værdier for de enkelte bygningsdele.

I moderne velisolerede bygninger udgør varmetabet fra kuldebroer en væsentlig andel af det samlede transmissionstab, hvorfor det er vigtigt at allerede i de tidlige projektfaser medregne kuldebroernes andel.

BR18 anbefaler at, U-værdierne forhøjes med mindst 50 pct. indtil der er regnet nøjere på kuldebroerne.

§ 257 Generelle mindstekrav til klimaskærmen

BR18 stiller krav til isoleringsevnen for de enkelte bygningsdele, hvor varmetabskoefficienterne (U-værdi samt linjetab) ikke må overstige værdierne i tabel 1 for nybyggeri. De dokumenterede U-værdier, for de forskellige bygningsdele, skal således korrigeres for evt. kuldebroer (se figur 5).

Bygningsdel	Typiske kuldebroer
Ydervæg	Altanophæng, murkrone, murkonsoller, etageadskillesler, udmuring/fals, gennemføringer
Terrændæk	Elevatorgrube, punktfundament, skillevægsgfundament
Tag	Elevatortårne, solceller, øvrige gennemføringer

Figur 5. Eksempel på typiske kuldebroer med indflydelse på de primære bygningsdeles U-værdi.



Eksempelvis, i et etageboligbyggeri med adskillige altaner, vinduer samt etager, skal U-værdien for ydervæggen korrigeres for det ekstra varmetab fra hvert enkelt altanophæng, etageadskillelse samt vinduesfals. Hvis U-værdierne ikke korrigeres i forhold til evt. kuldebroer, vil bygningens beregnede varmetab undervurderes i forhold til det reelle varmetab.

Endvidere er der, i tabel 1, angivet specifikke linjetabskrav til følgende bygningsdele, som ikke indregnes i U-værdierne (se figur 6).

Bygningsdel	Typiske kuldebroer
Fundament	Kælderydervægsgfundament, ydervægsgfundament
Samling	Samling mellem ydervæg og vinduer og/eller døre Samling mellem tagkonstruktion og ovenlys

Figur 6. Eksempel på typiske kuldebroer med indflydelse på de primære bygningsdeles linjetab.

Varmetabet fra kuldebroer indgår i energirammeberegningen ved dokumentation af linjetab samt korrigerede U-værdier.

Kravet omkring mindste varmeisolering understøtter ikke kun en energibesparelse, men skal også sikre god komfort og minimere risici for fugtproblemer. I særlige tilfælde, f.eks. ved høje bygninger eller vanskelige jordbundsforhold, kan kravene fraviges under forudsætning af at der fortsat sikres mod fugt samt at kuldebroen ved fundament indregnes i Be18.

§ 259 Energirammer

BR18 stiller krav til energirammen for bygninger, hvilken angiver hvor meget primærenergi, der maksimalt må benyttes i en bygning til bygningsdrift. Energirammen omfatter energi til opvarmning, ventilation, varmt brugs-

vand, køling samt evt. belysning.

Varmetabet fra evt. kuldebroer skal indgå i energirammen ved at korrigerer U-værdier for de primære bygningsdele samt indtaste linjetab i separat skema i Be18.

§ 264 Krav ved brug af energiramme

Nybyggeri skal udføres så at det maksimalt tilladte dimensionerende transmissionstab ikke overstiges. Dette er for at sikre, at klimaskærmen – som helhed – udformes med en rimelig isoleringsevne. Det dimensionerende transmissionstab bestemmes som angivet i DS418, hvor varmetab fra evt. kuldebroer skal indregnes som korrigerede U-værdier samt korrekte linjetab.

§§ 267-270 Energikrav ved ændret anvendelse

Ved renovering af bygninger, som ændrer anvendelse samtidigt med at de får et væsentligt større energiforbrug, fx inddragelse af en udnyttelig tagetage til beboelse, er der to muligheder for at overholde energikrav:

- 1) Benyttelse af energirammen som for nybyggeri.
- 2) Overholdelse af mindstekrav til klimaskærm i § 268.

For begge muligheder gælder at varmetabet fra evt. kuldebroer skal indregnes som korrigerede U-værdier samt korrekte linjetab.

Der kan dog være byggetekniske forhold, der bevirker at det ikke er muligt at overholde § 268 fuldt ud, f.eks. kravene vedr. linjetab for eksisterende vinduer og fundamenter. I givet tilfælde vil det være nødvendigt at erstatte den manglende ydeevne med andre kompenserende energitiltag, fx yderligere isolering, installation af vedvarende energianlæg eller forbedret energiforsyning.

§§ 271-273 Energikrav ved tilbygninger

Ved projektering og udførelse af tilbygninger, f.eks. en ny tagetage eller nye boliger på flade tage, er der tre muligheder for at overholde energikrav:

- 1) Benyttelse af energirammen som for nybyggeri (kun for selve tilbygningen).
- 2) Overholdelse af mindstekrav til klimaskærm i § 268 (kun hvis $A(\text{vindue}) < 22\% A(\text{etage})$).
- 3) Benyttelse af varmetabsrammen i § 272

For alle tre muligheder gælder at, varmetabet fra evt. kuldebroer skal indregnes som korrigerede U-værdier samt korrekte linjetab.

Forudsætningen for at bruge 3) er, at tilbygningens varmetab ikke bliver større end hvis § 268 var opfyldt. Endvidere kan 50% af det tidligere varmetab (eksisterende bygning) medregnes i varmetabsrammen.

§§ 274-279 Energikrav ved ombygning og udskiftning af bygningsdele

Ved ombygning gælder at energibesparelser skal gennemføres, såfremt de er rentable og ikke medfører risiko for fugtskader. Ved ombygning er der to muligheder for overholdelse af energikrav:

- 1) Overholdelse af mindstekrav til klimaskærm i § 279.
- 2) Benyttelse af energirammen for eksisterende bygninger (renoveringsklasser).

For begge muligheder skal varmetabet fra evt. kuldebroer indregnes som korrigerede U-værdier samt korrekte linjetab. Hvis der sker bygningsmæssige ændringer, som indebærer et forøget energiforbrug, skal der gennemføres tilsvarende kompenserende energibesparelser.

Ved udskiftning af bygningsdele eller installationer skal bestemmelserne i § 279 overholdes, uanset rentabilitet. Der kan dog være tilfælde, hvor dette fraviges, f.eks. ved understøbning af fundamenter, hvor udskiftningen giver anledning til for store merudgifter på tilgrænsende bygningsdele.

Fredede bygninger er undtaget fra bestemmelserne i §§ 274-282, såfremt energikravene modstrider den fredede bygnings arkitektoniske, kulturhistoriske eller miljømæssige værdier. Bevaringsværdige bygninger er ligeledes undtaget, såfremt energikravene er i strid med den pågældende planlægning (byplanvedtægt, lokalplan, kommuneplan mv.). Derudover kan der være byggetekniske forhold som bevirker at det ikke vil være teknisk forsvarligt, både ift. fugtrisiko og indeklimakomfort, at gennemføre energibesparelser for disse typer af bygninger.

§§ 280-282 Renoveringsklasser for eksisterende bygninger

Energirammen for eksisterende bygninger kan benyttes som alternativ til de almindelige ombygningskrav, og er primært tiltænkt som en frivillig mulighed for de bygherrer, der har et ønske om en mere holistisk tilgang til energirenovering. Der er to renoveringsklasser, Renoveringsklasse 1 henholdsvis Renoveringsklasse 2, som begge omfatter det samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand.

For begge renoveringsklasser gælder at varmetabet fra evt. kuldebroer skal indregnes som korrigerede U-værdier samt korrekte linjetab.

DS 418 Beregning af bygningers varmetab

BR18 henviser generelt til DS418 ved beregning af transmissionsarealer, transmissionstab og varmetabsramme. Endvidere beskriver DS418 hvordan mindstekrav for de enkelte bygningsdele beregnes og korrigeres ift. evt. kuldebroer. De foreskrevne U-værdier og linjetab skal overholdes for de enkelte konstruktioner, som er opbygget af samme materialer, hvorimod forskellige opbygninger skal dokumenteres hver for sig.

Til bestemmelse af linjetab og varmetab fra kuldebroer,

anviser DS 418 til både tabelopslag og simple håndberegningssmodeller. I DS 418 er der også en række beregningseksempler, for at vejlede i korrekt håndtering af kuldebroer og linjetab.

DS 418 er en sammensat norm fra flere europæiske og internationale normer, herunder:

- DS/INF 418-1:2013 (Beregning af bygningers varmetab - Del 1: Beregning af kuldebroer med detaljerede beregningsprogrammer)
- DS/EN ISO 14683:2017 (Kuldebroer i bygningskonstruktioner - Lineær varmetransmittans - Forenklede metoder og standardværdier)
- DS/EN ISO 10211:2017 (Kuldebroer i bygningskonstruktioner - Varmestrømme og overfladetemperaturer - Detaljerede beregninger)



4. Viden om kuldebroer

I det følgende uddybes de vigtigste definitioner og redskaber i forbindelse med håndtering af kuldebroer og korrekt beregning af konstruktioners varmetab. Der tages udgangspunkt i bygningsreglementets definitioner og krav til dokumentation jf. DS418. Af nomenklaturen opsummeres de mest gængse betegnelser.

Definitioner generelt

Det er vigtigt at skelne mellem definitionerne U-værdier, linjetab og kuldebroer:

U-værdi: et fladetab, som er bestemt ved den endimensionale varmestrøm i et eller flere snit i konstruktionen.

Linjetab: et varmetab fra andre konstruktive elementer, der ikke direkte kan tilskrives facaden, eksempelvis samlingen mellem ydervæg og vinduer.

Kuldebro: et område i konstruktionen, som påvirker varmetabet igennem klimaskærmen. En kuldebro er ikke et varmetab i sig selv, men en del af konstruktionen som kan give anledning til et punkt- eller et linjetab og forekommer hvor bygningsdele samles. Det kan eksempelvis være en vinduesfals, som bevirker et linjetab (to dimensionalt) eller en ståregel, som bevirker et punkttab (tredimensionalt).

I bygningsreglementet stilles krav til dokumentation af de primære konstruktioners U-værdier og krav til speci-

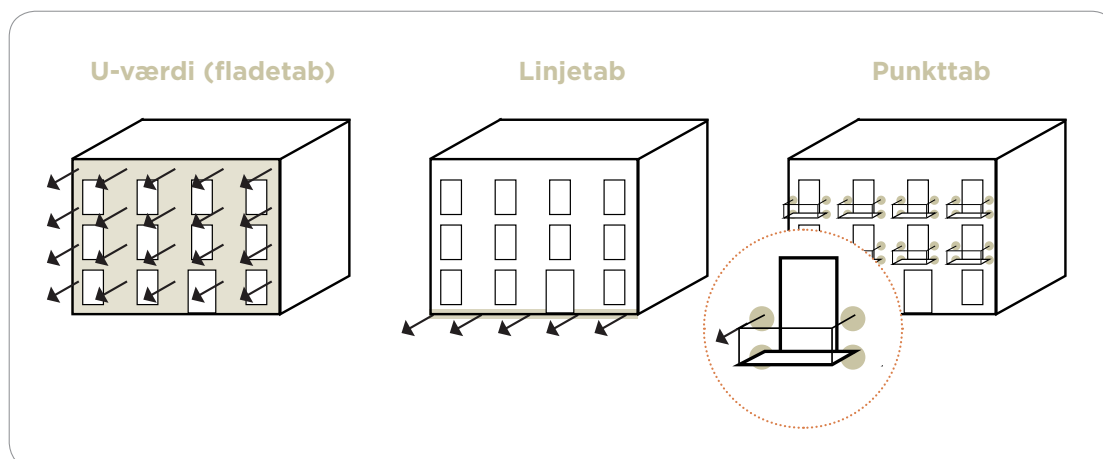
fikke linjetab for samling ved fundament, mellem vindue og ydervæg og mellem ovenlys og tagkonstruktion. Alle øvrige kuldebroer (linjetab og punkttab) skal således indregnes i de primære konstruktioners U-værdier. Definitionerne uddybes yderligere i de følgende afsnit.

U-værdier

U-værdier beskriver transmissionskoefficienten for de primære bygningsdele, eksempelvis ydervægge, blændfelter, terrændæk og tagkonstruktion. U-værdier for de primære konstruktioner defineres på forskellige måder, men kan typisk gradueres ved følgende definitioner:

- Endimensionale U-værdier og simple inhomogene konstruktioner
- U-værdier korrigeret for alle kuldebroer (BR krav)

Hvor de endimensionale U-værdier alene beskriver konstruktionens isoleringsevne i et rent eller simpelt snit, indgår samtlige kuldebroer i den korrigerede U-værdi. I de primære konstruktioner kan kuldebroer have en væsentlig indflydelse på den korrigerede U-værdi og det er derfor vigtigt at skelne meget tydeligt mellem de to definitioner når U-værdier kommunikeres igennem byggeriets faser. Bygningsreglementets krav til mindste varmeisolering er inkl. korrektion for alle kuldebroer (§257 bilag 2).



Figur 7. U-værdi (fladetab), linjetab samt punkttab.

Afhængig af det pågældende projekts kravspecifikation og konstruktionsprincipper, kan der stilles krav til både endimensionale U-værdier og korrigerede U-værdier inkl. kuldebroer. Typisk vil det dog være rådgiverens ansvar at dokumentere de korrigerede U-værdier inkl. kuldebroer. I dette tilfælde kan der stilles krav til isoleringstykkelse og isoleringsklasse, endimensionale U-værdier eller simple skeletkonstruktioner.

For systemfacader, som eksempelvis sandwich elementer eller curtain wall facader, kan det dog være vanskeligt for rådgiveren at dokumentere U-værdien, og derfor vil man typisk stille krav til entreprenør og leverandør om dokumentation for systemleverancens repræsentative U-værdier. Det er dog rådgiverens ansvar at sikre korrektion for elementer, som ikke nødvendigvis er en del af systemleverancen, eksempelvis altaner.

Linjetab

Bygningsreglementets generelle mindstekrav til klimaskærmen definerer tre typer af samlinger (lineære kuldebroer), som skal håndteres separat fra de primære konstruktioners U-værdier (§257):

- Fundamenter omkring rum, der opvarmes til mindst 5 grader
- Samlinger mellem ydervæg og vinduer eller yderdøre, porte og lemme
- Samlinger mellem tagkonstruktionen og ovenlysvinduer eller ovenlyskupler

Kravet til fundamenter gælder alene ydervægs- og kælderydervægsfundamenter, hvorimod skillevægsfundamenter under bygningen skal medtages i terrændækkets korrigerede U-værdi.

For samlinger mellem ydervæg og vinduer eller yderdøre, porte og lemme samt samlinger mellem tagkonstruktionen og ovenlysvinduer eller ovenlyskupler gælder bygningsreglementets krav alene for samlingstabet og ikke konstruktive linjetab som skal indregnes i konstruktionens U-værdi.

DS 418 angiver tabeller med linjetab for et udvalg af samlinger og fundamenter og Anneks C og D beskriver metoder for numerisk beregning af hhv. linjetab for samlinger omkring vinduer og døre og linjetab for ydervægsfundamenter.

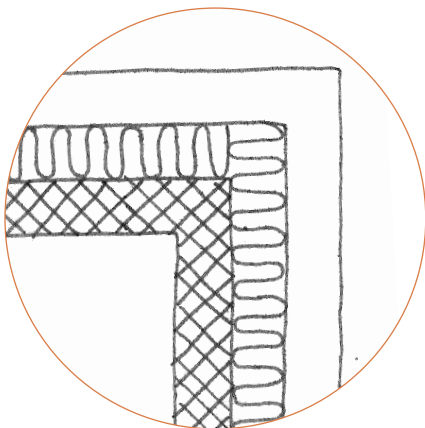
Kuldebroer

En kuldebro kan overordnet set defineres som et område i en konstruktion, hvor der forekommer 2- eller 3-dimensionale varmestrømme, og som har indflydelse på varmetabet i konstruktionen. Der findes mange forskellige former for kuldebroer, men typisk opdeles de i følgende fire undergrupper:

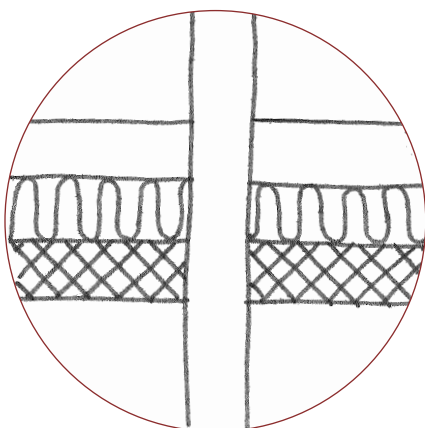
- Geometriske kuldebroer
- Konstruktive kuldebroer
- Systematiske kuldebroer
- Konvektive kuldebroer



Geometrisk kuldebro

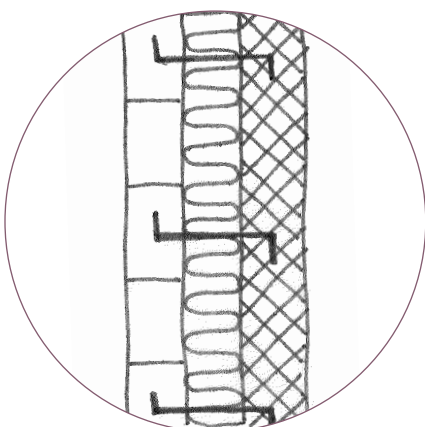


Alle konstruktioner, hvor der er forskel på indvendige og udvendige mål, resulterer i geometriske kuldebroer. Typiske detaljer, hvor der opstår geometriske kuldebroer, er hjørnesamlinger, samlinger mellem vinduer/døre og ydervægge, ydervægsgundamenter og murkroner. For nogle geometriske kuldebroers vedkommende kan der være tale om en negativ kuldebro, fx ved udadgående hjørner i ydervægskonstruktioner eller murkroner hvor samlingen mellem isolering i tag og væg ikke brydes. Årsagen er, at man benytter udvendige mål ved opgørelsen af ydervægs- og tagarealer. Opmålingsreglerne jf. DS418 figur 3.6.1 er derfor også afgørende for identificeringen af de geometriske kuldebroer.



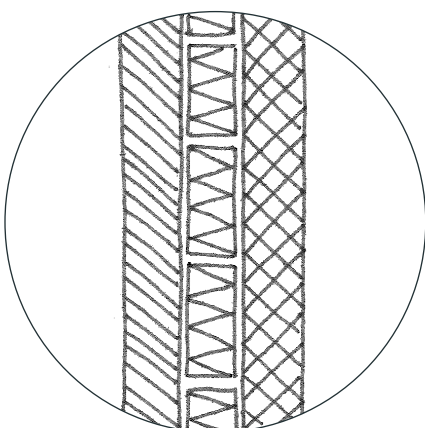
Konstruktiv kuldebro

De konstruktive kuldebroer optræder, hvor isoleringslag i konstruktioner helt eller delvist gennembrydes. Konstruktive kuldebroer kan derfor forekomme ved fx skillevægsgundamenter, murfals ved vinduer/døre, gennembrydning ved altaner, etageadskillelser mv. Konstruktive kuldebroer kan optræde som både punkttab eller linjetab i de primære konstruktioner.



Systematisk kuldebro

Systematiske kuldebroer er en type af konstruktive kuldebroer, som forekommer systematisk i konstruktionen. De enkelte kuldebroer er ofte af mindre betydning, men grundet omfanget kan de have en væsentlig indflydelse på varmetabet. Systematiske kuldebroer er eksempelvis murbindere, tyndpladeprofiler, træskelet, ribber, søjler mv.



Konvektiv kuldebro

Konvektive kuldebroer er defineret ved utilsigtet konvektion eller luftstrømninger i konstruktionerne og kan blandt andet opstå ved luftspalter mellem isoleringsplader. Der tages sjældent højde for denne type kuldebro, idet bygninger generelt projekteres ud fra en forudsætning om at konstruktionerne udføres korrekt. Registreres væsentlige konvektive kuldebroer i forbindelse med tilsyn, bør konstruktionernes U-værdier korrigeres for dette, såfremt der ikke sker en udbedring.



DS 418 Beregning af bygningers varmetab

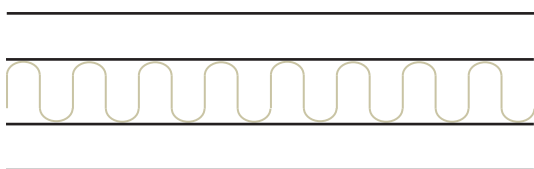
Bygningsreglementet henviser til DS418 Beregning af bygningers varmetab for bestemmelse af det dimensionerende transmissionstab. DS418 tilsigter at skabe ensartethed for dokumentation af bygningers varmetab og bygningsdeles isolans i relation til bygningsreglementets bestemmelser og angiver simple og praktisk anvendelige metoder samt tabelopslag for typiske linje- og punkt-tab.

DS418 stiller dog krav til at brugeren har den fornødne tekniske indsigt og man kan derfor ikke ukritisk anvende de angivne metoder og tabelopslag. I de konkrete tilfælde, hvor det påvises at beregningsmetoden ikke giver en rimelig god tilnærmelse til de virkelige forhold, bør mere detaljerede metoder tages i anvendelse.

I de følgende afsnit gengives og uddybes en række af de vigtigste elementer i DS418 for korrekt beregning af bygningsdeles transmissionstab.

Konstruktioner med homogene lag

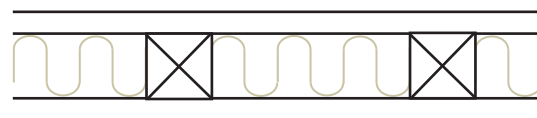
Konstruktioner med homogene lag vil være de mest simple konstruktioner og dokumenteres ved den éndimensionale U-værdi.



Figur 8. Konstruktion med homogene lag.

Konstruktioner med simple inhomogene lag

For simple konstruktioner bestående af homogene, inhomogene og planparallelle lag, kan isolansen beregnes som om hvert af de inhomogene lag er homogene med en middelvægtet varmeledningsevne. Jf. EN ISO



Figur 9. Konstruktion med simple inhomogene lag

10211 kan metoden dog kun anvendes hvis vægtningen medfører at den ækvivalente varmeledningsevne bliver mindre end 1,5 gange den laveste af indgående materials varmeledning. Anvendelsesområdet for metoden er derfor begrænset og ses typisk anvendt for lette konstruktioner med inhomogene lag bestående af konstruktionstræ og isolering. For en konstruktionsopbygning som et træskelet med 10 % konstruktionstræ ($\lambda = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$) og 90 % isolering ($\lambda = 0,037 \text{ W/m}^2\text{K}$) opnås en vægtet varmeledning på $0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$ svarende 1,38 gange den laveste af de indgående materials varmeledning.

For konstruktioner med tyndpladeprofiler gælder derimod, at der skal mere detaljerede beregninger til for at tage højde for de store variationer i stålets og isoleringens varmeledningsevne. Hvor man har krydsende stålskelet fås flere forskellige linjetabskoefficienter og punkttabskoefficienter, som tilsammen udgør det samlede transmissionstab.

Konstruktioner med kuldebroer

For store terrændæk hvor den mindste sidelængde er større end 40 m, opstår specielle forhold hvor temperaturen under dækket har stor betydning for det reelle varmetab. Hvor man normalt vil dokumentere U-værdien efter DS 418, kan DS/EN ISO 13370 benyttes til alternativ dokumentation for at bygningsreglementets mindste krav er overholdt. I bygningsreglementets vejledningstekst for Energiforbrug (§250-§298) fremgår en uddybning af hvordan U-værdien i dette tilfælde skal beregnes.

Betonsandwichelementer er en systemleverance og bør i udgangspunktet dokumenteres af producenten, da omfang af armering, ribber mv. i disse tilfælde ikke kendes af rådgiver.

Ved beregning af konstruktioners korrigerede U-værdi, kan der ifølge DS418 normalt ses bort fra linjetab Ψ_k mindre end 0,02 W/mK og for punkttab mindre end 0,02 W/K. Er der tale om systematiske kuldebroer skal disse dog medregnes uanset størrelsen. For sandwichelementer gælder eksempelvis, at længden på de lineære kuldebroer ved spring i isolering ved ribber, forstærkninger og udmuringer er så store at de skal medregnes i den korrigerede U-værdi.

Foruden ribber skal sandwichelementerne korrigeres for forbindelsesbøjler, ophængsbøjler og øvrige kuldeboer.

Korrekt opmåling

Opmålingsreglerne jf. DS 418 er nationalt fastlagt og kan derfor afvige fra metoderne, som anvendes i eksempelvis Norge og Tyskland såvel som i Passivhus-standarden. Det betyder samtidig at, metode for fastlæggelse af de lineære kuldebroer ved de ydre samlinger som murkroner, ydervægsfundamter mv. vil afvige.

Metoder til bestemmelse af varmetab fra kuldebroer

Der findes mange forskellige metoder med varierende detaljeringsgrader for dokumentation af kuldebroernes størrelser. Metoderne kan give anledning til store variationer i resultaterne og de enkelte metoder bør derfor håndteres derefter.

DS/EN ISO 14683:2007 angiver tabelopslag med designværdier for en række almindeligt forekommende 2-dimensionale kuldebroer. Værdierne kan anvendes i de tidlige stadier hvor detaljeringsniveauet ikke er tilstrækkelig eller hvis opgavens formål ikke kræver en mere præcis evaluering.

Linjetabskataloger og opslag kan henføres til producenters kataloger over standardløsninger med netop deres løsninger eller typiske konstruktioner og linjetab anført i eksempelvis DS418.

I praksis vil der næsten altid være konstruktive forskelle mellem den konkrete detalje og detaljerne som ligger til grund for beregningerne i katalogerne og opslagsværdien vil derfor altid være behæftet med en usikkerhed. På trods af afvigelserne kan værdierne i tabelopslaget anvendes, såfremt eksemplernes forudsætninger er konservative eller sammenfaldende med de detaljer der anvendes.

Beregningerne som ligger til grund for opslagsværdier i katalogerne skal være baseret på de numeriske metoder beskrevet af DS/EN ISO 10211 og følgende forudsætninger skal være uddybet:

- Klar beskrivelse af hvordan Ψ og χ fastlægges ud fra de oplyste tabeller
- Detalje/skitse med målsætninger samt oplysninger omkring materialernes varmeledningsevne
- Anvendte overgangsisolanser

Anvendes simple håndberegningsmetoder for estimering af kuldebroers betydning, skal der sammen med beregningen foreligge en beskrivelse af forudsætninger og tilhørende betragtninger:

- Konstruktionsmæssige detaljer som belyser den samlede løsning
- Begrænsninger for metodens gyldighedsområde
- Begrænsninger i de anvendte materialers varmeledningsevne
- Anvendte overgangsisolanser
- Estimering af beregningens usikkerhed



Usikkerhederne kan variere meget og kan i realiteten være vanskelige at vurdere uden en reel sammenligning med en detaljeret numerisk beregning.

Numerisk beregning af en lineær kuldebro, Ψ , og punkt-tab, χ , skal udføres i henhold til metoderne beskrevet i DS418 og DS/EN ISO 10211. Beregninger udføres med programmer som eksempelvis WUFI, THERM, KOBRU, TRISCO, HEAT2 og HEAT3.

DS 418 beskriver metoderne for bestemmelse af linjetab for kuldebroer i konstruktioner, linjetab for samlinger omkring vinduer og døre samt linjetab for ydervægs- og kælderydervægsfundamenter.

DS/INF 418-1 er udført som et informativt dokument som skal supplere DS 418 som et hjælpeværktøj hvor mere detaljerede beregninger er nødvendige. DS/INF 418-1 beskriver den grundlæggende modelleringsteknik for numeriske beregninger og gennemgår 6 forskellige beregningseksempler.

Den teoretiske usikkerhed ved denne metode begrænser sig til eventuelle forsimplinger af beregningsmodellen. Man bør dog kun lave forsimplinger i sin beregningsmodel hvis man kan argumentere for at det vil være en mere konservativ betragtning eller uden betydning for resultatet.

DS/EN ISO 14683 beskriver håndteringen og de forventede usikkerheder ved de typisk anvendte metoder.

Metode	Usikkerhed
Simple tabelopslag (DS/EN ISO 14863)	± 50 %
Linjetabskataloger	± 20 %
Håndberegning	± 20 %
Numerisk beregning	± 5 %

Figur 10. Usikkerhed ved anvendte metoder (DS/EN ISO 14863)..

5. Kortlægning - nybyggeri

Formålet med kortlægningen er at få et repræsentativt øjebliksbillede af byggepraksis i Danmark for byggetekniske detaljeløsninger med kuldebroer, når der bygges nyt og renoveres anno 2018.

Da projektets centrale omdrejningspunkt omhandler kuldebroers indflydelse på klimaskærmens varmetab, berøres problemstillinger vedr. fugt, skimmel eller kondensdannelse kun flygtigt.

Kortlægningen har taget udgangspunkt i projektgruppens egne portfolier, hvor der er indsamlet detaljeløsninger fra i alt 30 projekter.

Tegningsmaterialet er blevet gransket og gennemgået for at kunne kategorisere og gruppere de mest karakteristiske og tidstypiske byggetekniske detaljeløsninger.

Ved kortlægning af detaljeløsninger i renoveringsprojekter, har det været nødvendigt at supplere med tegningsmateriale uden for projektgruppens egne portfolier. Ud af de 30 projekter er der 18 nybyggeri samt 12 renoveringsprojekter, fortrinsvis etageboligbyggeri, på nær 2 erhverv.

	Antal projekter	År	Type		Konstruktionsprincip	
			Bolig	Erhverv	Tung	Let
Nybyggeri	18	2013-2018	15	3	14	4
Renovering	12	1955-1974	12	0	6	6

Figur 11. Oversigt over projekter fra egen portfolio i kortlægningsfasen.



De byggetekniske detaljer er blevet grupperet i forhold til type af ydervægskonstruktion for både nybyggeri henholdsvis renovering. Dernæst er de byggetekniske detaljeløsninger blevet kategoriseret i forhold til hvilken primær bygningsdel de hører ind under ved beregning af den resulterende varmetransmissionskoefficient (U-værdi).

De primære bygningsdele, som er relevante i forhold til kuldebroer er:

- Fundament
- Terrændæk
- Ydervæg
- Tag.

Kortlægningen af nybyggeri er kategoriseret efter type af ydervægskonstruktion, da det ofte er bestemmende for hvordan resten af bygningen rent konstruktivt kommer til at hænge sammen.

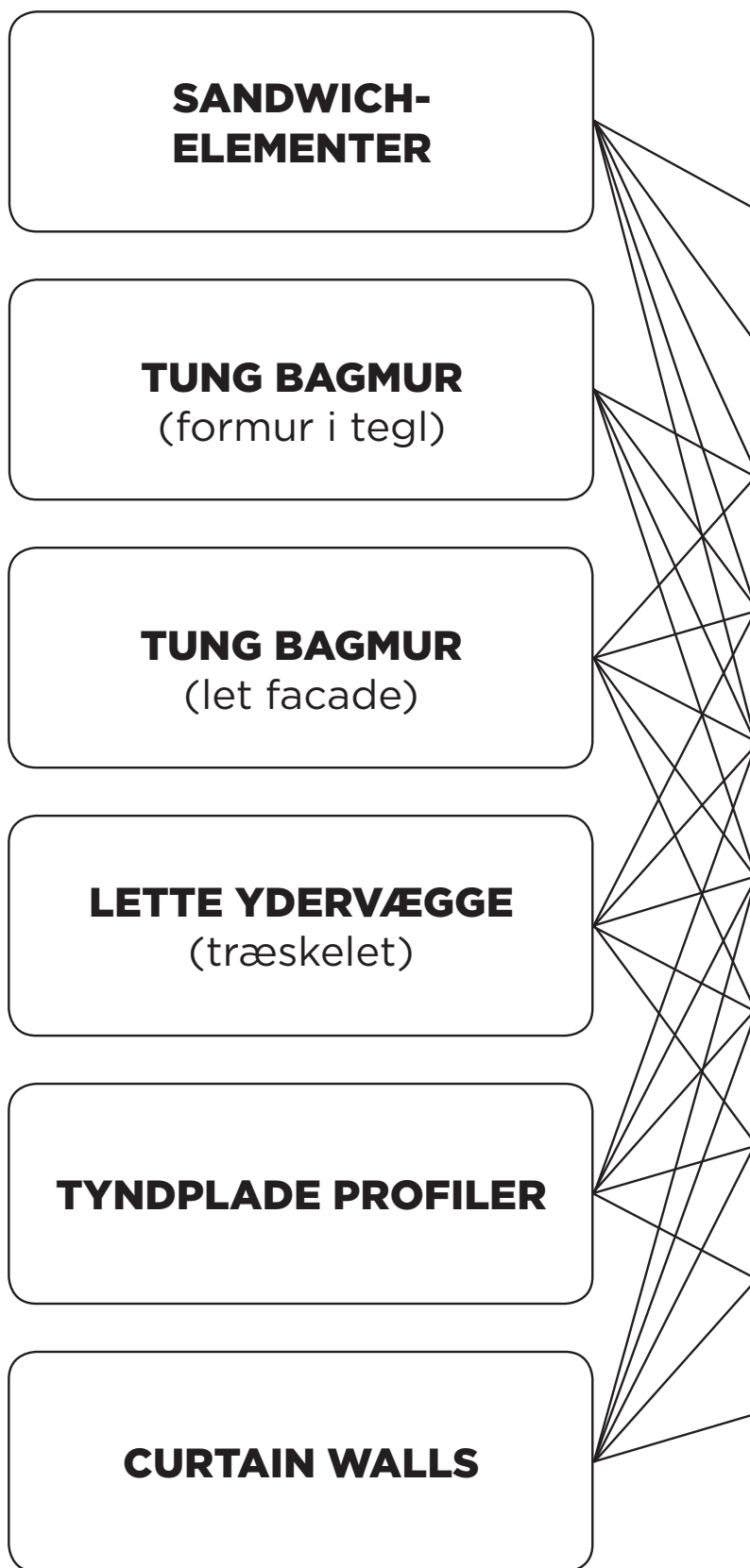
Der er lavet seks overordnede forskellige typer:

- Sandwichkonstruktioner
- Tung bagmur med formur i tegl
- Tung bagmur med lette facader
- Lette ydervægge i træ
- Tyndpladeprofiler
- Curtain walls

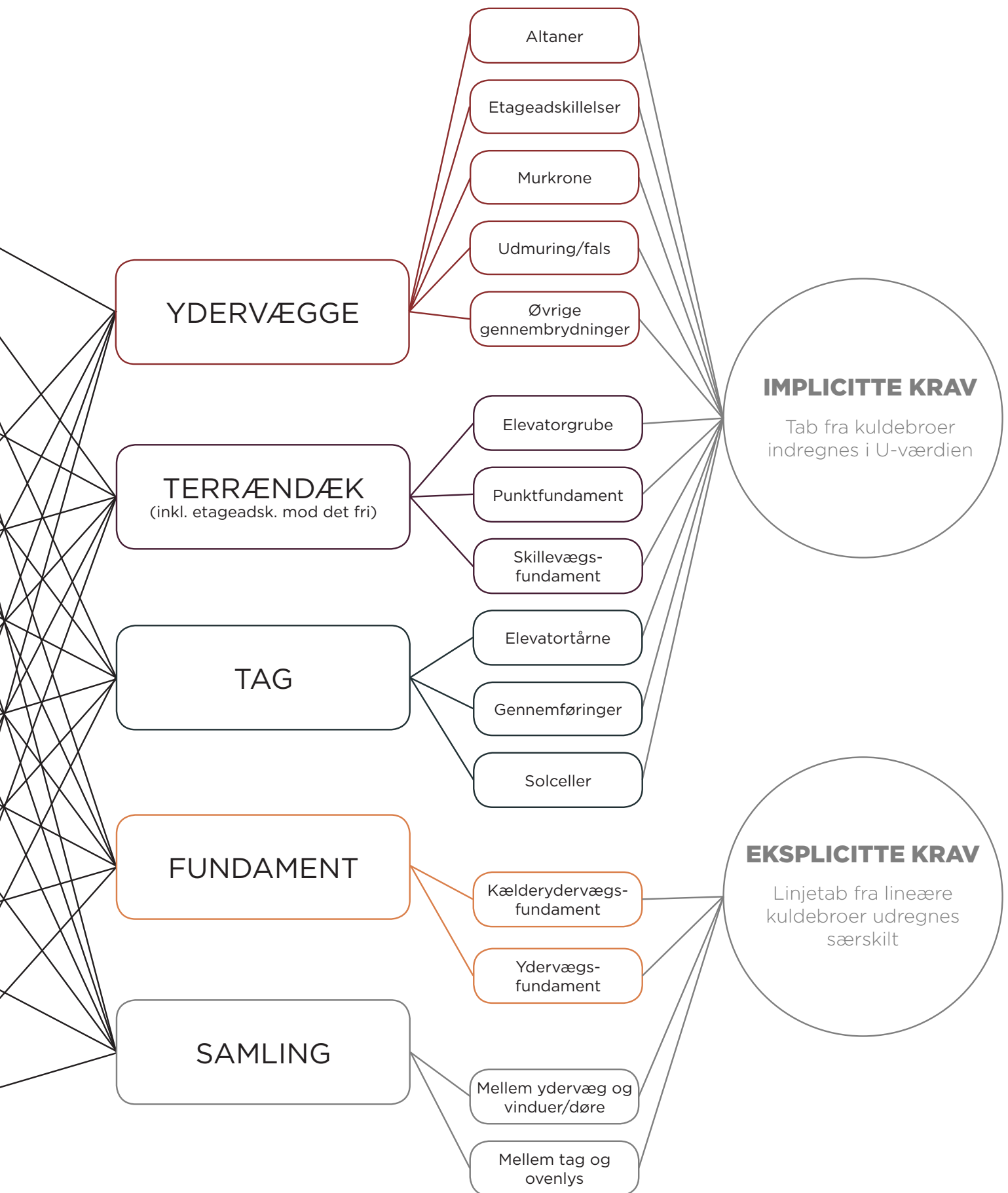
Figur 12 viser en oversigt over alle kortlagte kuldebroer samt hvilken bygningsdel, som de hører under, fordelt på de seks konstruktionstyper.

Varmetab fra kuldebroer, som hører under ydervægge, terrændæk samt tag, skal indregnes i bygningsdelens korrigerede U-værdi. Linjetab fra de lineære kuldebroer, som hører under fundament samt samlinger, skal udregnes særskilt.

Der er kortlagt i alt 18 projekter fra projektgruppens egen portefolio.



Figur 12. Kategorisering af detaljer i forhold til bygningsdele



Solceller

Placering af solceller i tagfladen sker ved fastgørelse af montageskinner til tagkonstruktionen ved hjælp af specialbeslag, som er udformet til den aktuelle tagbeklædning. For at sikre at panelerne kan modstå vindtræk, er det nødvendigt at gennembryde tagkonstruktionen, hvorfor der opstår konstruktive kuldebroer.

Elevatortårne

I elevatortårne bør der være ekstra plads i elevatorskaktens øverste del, især hvis den er direkte tovbåren og ikke kun tovhvraulisk. Hvis ikke der er plads under tagkonstruktionen vil elevatortårnet rage ud over bygningens tag, hvilket vil medføre både geometriske og konstruktive kuldebroer i samlingerne mellem elevatortårnet og tagfladen.

Samlinger

I samlinger mellem vinduer/døre og ydervæg samt mellem ovenlys og tag, er der en lineær kuldebro.

Kælder/ydervægsgfundament

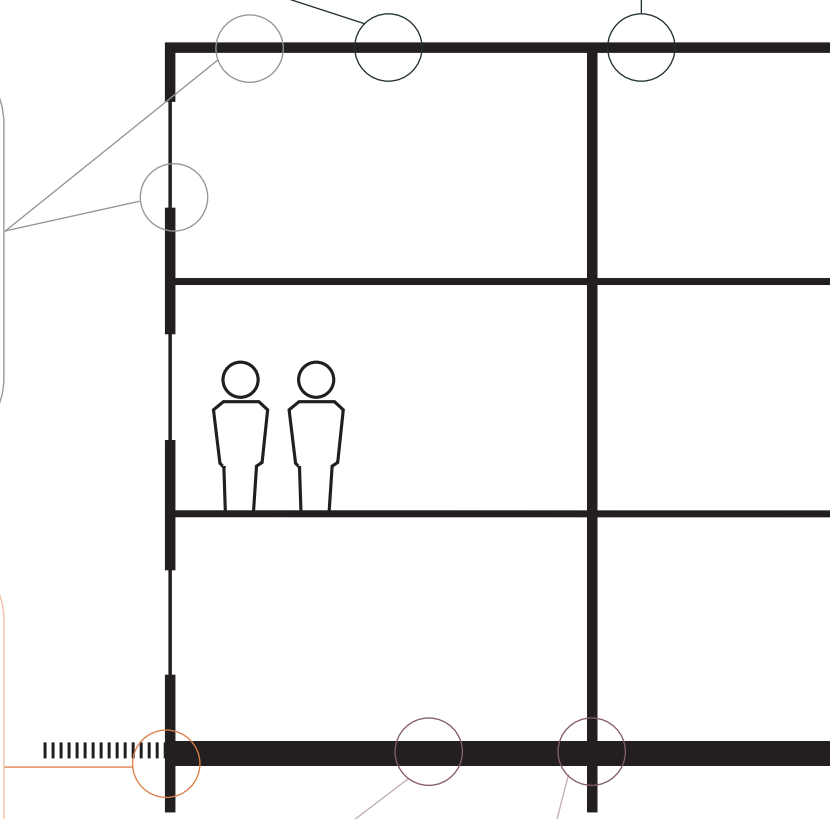
Ved fundamentet vil der være en lineær kuldebro langs ydervægsgfundamentet eller kælderydervægsgfundamentet. Ydervægsgfundamentets og terrændækkets opbygning påvirker størrelsen på den lineære kuldebro.

Understøbning elevator/trappekerner

Elevator- og trappekerner udsættes for større statiske belastninger og derfor er det nødvendigt at lave understøbninger ved terrændæk, som giver anledning til konstruktive kuldebroer.

Skillevægs / punktfundament

Skillevægs- og punktfundamenter udføres i beton, da der stilles store krav til bæreevnen. De statiske forhold medfører ofte at det er nødvendigt at gennembryde terrændækkets eller kældergulvets isolering, hvorfor disse vil give anledning til en konstruktiv kuldebro.



Figur 13. Oversigt over kuldebroer i etageboliger (nybygg)

Gennemføringer

I tagfladen kan der være adskillige gennemføringer, som giver anledning til konstruktive kuldebroer. Det kan eksempelvis være afkast fra ventilationsanlæg, indvendig tagafvanding mv.

Murkroner

Murkronen er den øvre afslutning af den murede facade mod taget, hvis funktion er at bortlede regnvand fra facaden. Murkronen udgør en lineær kuldebro, som følger samlingen mellem tag og ydervæg langs bygningens perimeter. Murkronens kuldebro kan medregnes enten i tagets eller ydervæggens U-værdi (i nærværende projekt er den medregnet i ydervæggens U-værdi).

Altaner

Kuldebroer ved altanløsninger afhænger af facadedesign og konstruktionsprincip samt hvordan forankringen udføres. Altaner findes i mange udformninger og kan være udkragede, indspændte eller ophængte ved hjælp af konsol eller trækstang. Ophængte altaner medfører punktkuldebroer, hvorimod udkragninger resulterer i en lineær kuldebro. Indspændte altaner kan have kombinationer af begge typer af kuldebroer.

False

I forbindelse med indbygningen af et vindue i ydervæggen, er der (udover linjetab i samlingen mellem vindue og væg), også oftest en kuldebro i væggen falsafslutning grundet en forringet isoleringsværdi samt evt. spring i isoleringstykkelser i selve falsafslutningen. Man skelner mellem tre konstruktive greb; overfals, sidefals samt bundfals.

Etageadskillelser/lejlighedsskel

I etageadskillelsen skal der udveksles kræfter mellem etagedæk og den bærende delen af ydervæggen, hvor evt. kuldebroer afhænger af konstruktionsprincippet. Ved et søjle-bjælkesystem vil der typisk være spring i isoleringstykkelser, som udgør en kuldebro.

Øvrige gennembrydninger

I ydervæggen kan der være øvrige gennembrydninger såsom rørføring af tekniske installationer, beslag, konsoller, fastgørelse af udvendig solafskærmning, mv. Gennemføringer udgør potentielle kuldebroer og skal medregnes i ydervæggens U-værdi.

6. Analyse af udvalgte eksempler - nybyggeri

I projektet er der udvalgt et repræsentativt udsnit af konstruktionsdetaljer, som er aktuelle for den måde der bygges på i dag. Da facadekonceptet typisk er afgørende for de konstruktive principper og omvendt, er de overordnede konstruktionsprincipper opdelt på ydervægsprincipper, hvor terrændæk (skillevægge mv.) og ydervægsfundament typisk er afledt heraf.

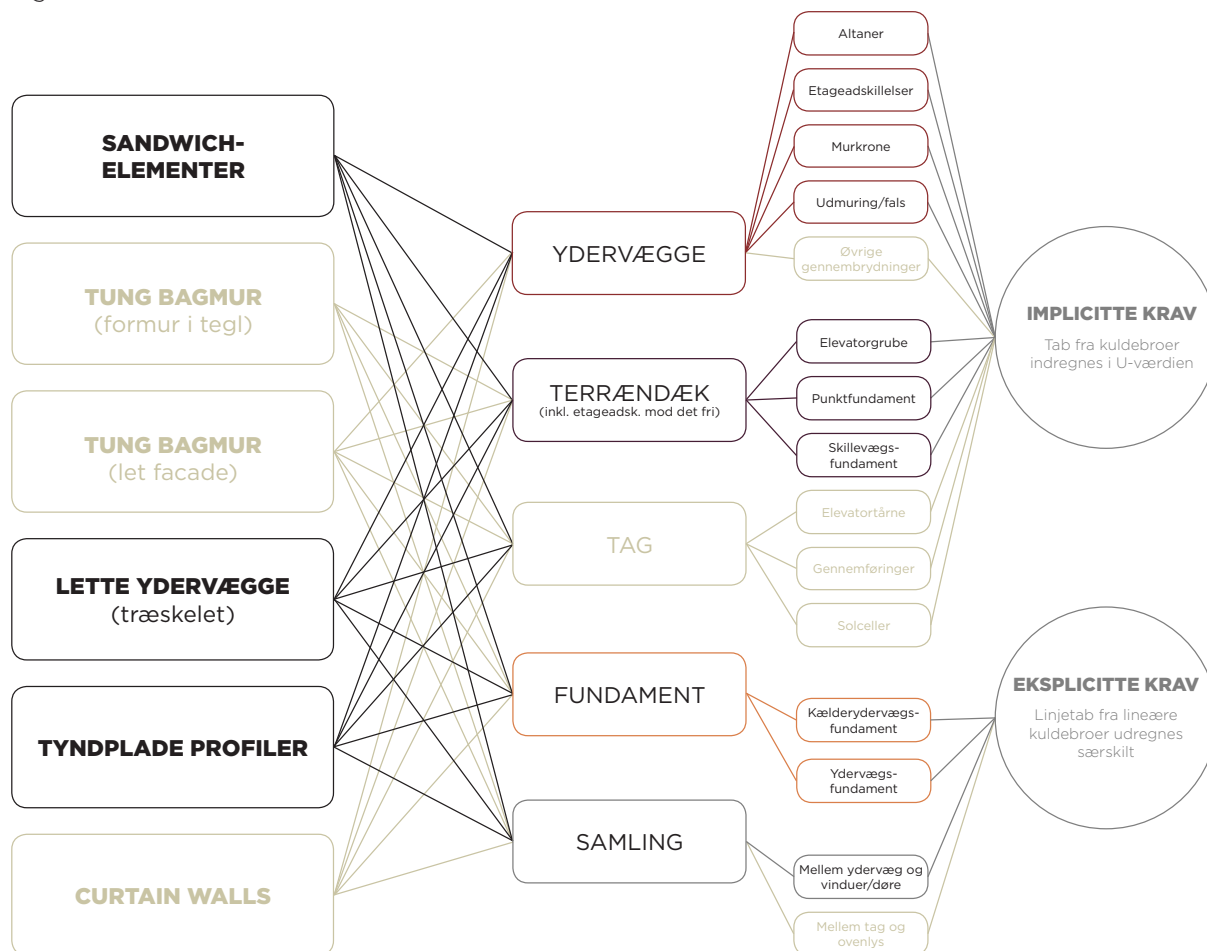
Forudsætningerne for det enkelte byggeprojekt vil dog variere og tilgang og metode vil afhænge af de pågældende rådgivere og entreprenører.

Tagkonstruktionen er udeladt i analysen da kuldebroernes betydning for denne, overordnet set, vurderes at være begrænset.

Projektet er afgrænset ved nogle af de mest anvendte konstruktionsprincipper, herunder:

- Tunge ydervægge (sandwichelementer)
- Lette ydervægge (træ)
- Tyndpladeprofiler

I præsentationen af de udvalgte detaljeløsninger vises ikke kun varmetab fra de enkelte kuldebroer, men også økonomiske indekstal samt begrundelse herfor. I det følgende afsnit uddybes generelle anlægsøkonomiske betragtninger og hvad man særlig skal være opmærksom på ved tilvalg af varmebesparende tiltag.



Figur 14. Udvælgelse af detaljer af detaljer i forhold til bygningsdel samt konstruktionsprincip (nybyggeri).

Anlægsøkonomiske betragtninger

I tabellerne for de udvalgte eksempler vises et indekstal for økonomi, hvor indeks=100 repræsenterer en referencituation i forhold til anlægsøkonomi. Formålet med dette indekstal er, at angive en relativ prisforskel mellem de forskellige løsninger (konstruktionsdetaljer). En konstruktionsdetalje med indekstal 120 vurderes derfor at være 20 pct. dyrere end den økonomiske reference-situation.

I forbindelse med et byggeprojekt er der ofte en begrænset anlægssum til rådighed, hvorfor det er vigtigt med fokus på anlægsøkonomi. For en optimal udnyttelse af anlægssummen er det derfor nødvendigt at skabe et overblik over de forventede anlægsomkostninger ved fx at benytte en konstruktionsdetalje frem for en anden. Byggeprojektet kan derefter optimeres; både i forhold til økonomi og varmetab/energi.

Anlægsomkostninger i faste priser (eksempelvis i kroner pr. løbende meter) ved opbygning af en given konstruktionsdetalje afhænger af mange faktorer, f.eks. fluktuerende priser på byggevarer og arbejdskraft, konkurrencemæssig situation i byggebranchen inkl. evt. prispress, inflation etc. For at håndtere denne udfordring, og samtidig sikre at nærværende publikation er et mere langtidsholdbart produkt, er det valgt at rapportere anlægsøkonomi for forskellige konstruktionsdetaljer, som indekserede værdier. På den måde bliver prissætning af den enkelte konstruktionsdetalje uafhængig af det nuværende prisniveau og udvikling heraf.

Det er en vigtig forudsætning for de anførte indekstal for anlægsomkostninger, at konstruktionsdetaljer betragtes som ligeværdige løsningsforslag i det konkrete projekt. Dette betyder, at for projektet vil det være muligt at opføre bygningen med en vilkårlig af de viste konstruktionsdetaljer. Dette vil dog ikke altid være tilfældet, hvilket kunne være begrundet i arkitektoniske bindinger i projektet, begrænsninger ift. statik, særlige geotekniske forhold mv.

Direkte og indirekte produktionsomkostninger

Ved bestemmelse af indekstal for anlægsøkonomi er der taget højde for såvel direkte som indirekte produktionsomkostninger.

Direkte produktionsomkostninger omfatter:

- Anvendte byggematerialer
- Arbejdstimer, der kræves under typiske arbejdsforhold
- Tekniske hjælpemidler, der direkte kan henføres til opbygning af konstruktionsdetalje

Indirekte produktionsomkostninger omfatter blandt andet:

- Belastning af fælles byggepladsforanstaltninger, herunder stillads, kran, skure m.v. Dette kunne være begrundet i at nogle konstruktionsopbygninger f.eks. kræver ekstra løft med kran, hvor andre opbygninger kunne have behov for færre kranløft.

- Behov for evt. opvarmning, udtørring, afdækning mod nedbør m.v.
- Komplexitet ved forskellige variationer/knudepunkter/sammenbygninger
- Komplexitet afledt af entrepriseskift, f.eks. skift mellem murer/maler/tagdækker etc.
- Svigtrisiko for arbejde samt efterfølgende omkostninger til afhjælpning

Tabellerne på de følgende sider indeholder bl.a. anlægsøkonomi for nogle udvalgte konstruktionsdetaljer. Den typisk forekommende konstruktionsdetalje er prissat til indeks = 100. Tabellerne viser desuden en række alternative udformninger, hvor der for hver af disse er anført et indekstal (eller et interval), der viser den relative prissætning af anlægsøkonomi.

En række parametre går igen i forbindelse med bestemmelse af anlægsøkonomi for de viste konstruktionsdetaljer. Parametre i prioriteret rækkefølge (dvs. dyrest først) er:

- Flere arbejdsprocesser; særligt hvis disse arbejdsprocesser involverer flere forskellige fagentrepriser (murer/maler/tagdækker etc.). Dette skyldes et øget arbejde med at koordinere samt risiko for spildtid når medarbejdere går til/fra opgaven.
- Forøgede indirekte omkostninger (behov for supplerende afdækning ift. nedbør etc.)
- Dyrere konstruktionsmaterialer (fx letklinkerblokke vs. beton etc.)

Indekserede anlægsomkostninger i tabeller bør anvendes med vanlig varsomhed, idet vurderinger er baseret på normale projektforsudsætninger. Specifikke projektforsudsætninger såsom prisniveau på byggematerialer, arbejdskraft etc., særlige geotekniske forhold eller andre byggetekniske forhold kan medføre afvigelser fra de anførte værdier. For et konkret projekt bør specifikke forhold inddrages for at vurdere evt. lønsomhed af en specifik konstruktionsdetalje i forhold til en anden.

Eksempel på bestemmelse af indekstal for anlægsomkostninger

I eksemplet på næste side tages der udgangspunkt i de viste detaljer for "Udmuring/fals", herunder betonfals, pladefals samt teglfals. Indekstal bestemmes som tilnærmede værdier.

Betonfals

Opbygning med betonfals ses som det traditionelle udgangspunkt. Arbejdsprocessen i forbindelse med opbygning af betonfalsen er nem og ligetil. Facadevinduer kan monteres umiddelbart efter at betonfals er opsat. Facaden er derefter lukket, hvorfor evt. udtørring eller vejrfølsomt arbejde kan starte i bygningen. Opmuring af murværk er ikke kritisk i forhold til andre arbejdsprocesser og kan derfor tidsmæssigt indpasses efter forgodtbefindende.

Indekstal sættes til 100 (repræsenterer referencesituation).



Figur 15. Opbygning med betonfals.

Pladefals

Arbejdsprocessen i forbindelse med opbygning af pladefals ses også relativ ukompliceret. Facadevinduer og pladefals monteres i umiddelbart forlængende af hinanden. Facaden er derefter lukket, og udtørring og/eller vejrfølsomt arbejde kan starte i bygningen.

Opsætning af pladefals stiller større krav til finish i forbindelse med montage og efterfølgende overfladebehandling. Ved montage skal pladefals flugte med inderside af betonelement og der skal laves en pæn og holdbar afslutning. Efterfølgende skal pladefalsen overfladebehandles (males), hvilket kræver en ny supplerende fagentreprise (maler).

Opmuring af murværk er ikke kritisk i forhold til andre arbejdsprocesser og kan derfor tidsmæssigt indpasses efter forgodtbefindende.

Udfordringer med at etablere en pæn og holdbar afslutning, overfladebehandling og koordinering med en fagentreprise gør at indekstal sættes til 120-125.

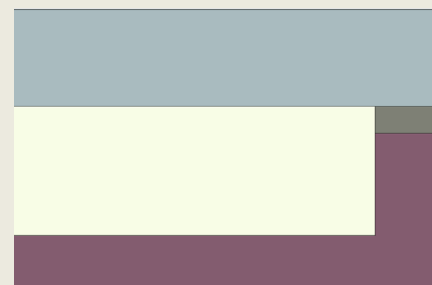


Figur 16. Opbygning med pladefals.

Teglfals

Arbejdsprocessen i forbindelse med opbygning af teglfals er præget af aktivitet af skiftende fagentrepriser. Efter opsætning af betonelement er det ikke umiddelbart muligt at lukke bygningen af for vejrlig. Dette skyldes at montage af vinduer kræver opmuring af teglfalse. Såfremt det ikke er muligt at koordinere tidsplan med murerentreprisen vil der være behov for midlertidig afdækning af vindueshuller. Murere opbygger teglfalsene, hvorefter facadevinduer monteres af tømreren. Herefter vender murer tilbage og opbygger den ydre teglvange, som afslutter arbejdet med opbygning af ydervæg.

Idet teglfalsens dimensioner ikke passer med en sten i normalformat forudses et ekstra forbrug af teglsten (grundet afhug af sten) samt ekstra tidsforbrug til murerarbejde. Ved den viste placering vil der desuden også være et større arbejde (og materialeforbrug) i forbindelse med opbygning af sålbænke, idet vinduet er trukket længere tilbage fra forkant facade end i de to andre opbygninger.



Figur 17. Opbygning med teglfals.

Behov for midlertidig lukning, et forøgede materialeforbrug for murer (pga. afhug af sten) samt skift i fagentreprise (beton-murer-tømrer-murer) gør at løsning med teglfals er mere omkostningstung end de øvrige viste opbygninger. Indekstallet sættes til 130-135.

Læsevejledning til dobbeltopslag

Detaljerne er fordelt på en række dobbeltopslag, hvor overskriften samt faner i venstre henholdsvis højre side indikerer hvilken detaljeløsning som vises og tilhørende konstruktionsprincip.

Venstre side beskriver de typiske detaljeløsninger samt særlige udfordringer. Højre side viser en tabel, hvor følgende præsenteres:

- Beskrivelse (tydeliggørelse af opbygning af detaljeløsning)
- Detaljefigur (illustration af opbygning af detaljeløsning)
- Varmestrømning (illustration af varmeflow igennem konstruktionsdelen, hvor rød farve repræsenterer høj varmeflow og blå farve repræsenterer lav varmeflow).
- Temperatur (illustration af temperaturfordeling igennem konstruktionsdelen, hvor rød farve repræsenterer høj temperatur og blå farve repræsenterer lav temperatur).
- Varmetab (de beregnede værdier for linje- og punkttab)
- Indekstal for anlægsøkonomi
- Begrundelse for indekstal

Ovenstående er vist for 1 referencesituation med 1-2 parametervariationer.

EKSEMPLER - NYBYGGERI

Altaner

Etageadskillelse
Murkrone
Udmuring/fals
Elevatorgrube
Punktfundament
Skillevægsfundament
Kælderydervægsfundament
Ydervægsfundament

Altaner

Altaner optræder typisk for etageboliger og udføres i mange varierende konstruktive afskygninger. Altaner udføres normalt som en del af ydervægskonstruktionen, hvorfor kuldebroer - som følge af de konstruktive samlinger - således skal medregnes i ydervæggens U-værdi. For sandwich elementer vil beslag mv. typisk blive forankret i bagvægselementet og dermed gennembyrde den isolerede del af konstruktionen. Der findes en række præfabrikerede produkter for altanophæng med henblik på begrænsning af kuldebroen. Hvor vidt en sådan løsning kan svare sig, vil typisk kræve supplerende beregninger hvor en eventuel energibesparelse bør sammenholdes med de anlægsøkonomiske konsekvenser. Det kan være vanskeligt at få oplyst konkrete punkt- eller linjetabskoefficienter for præfabrikerede løsninger da det afhænger af den konstruktive sammenhæng for den specifikke detalje. For boligbyggeri kan kuldebroer forårsaget af altaner have afgørende betydning for ydervæggens resulterende U-værdi såvel som bygningens samlede transmissionstab, og det er derfor vigtigt at man allerede i de tidlige faser tager højde for dette i sine beregninger.

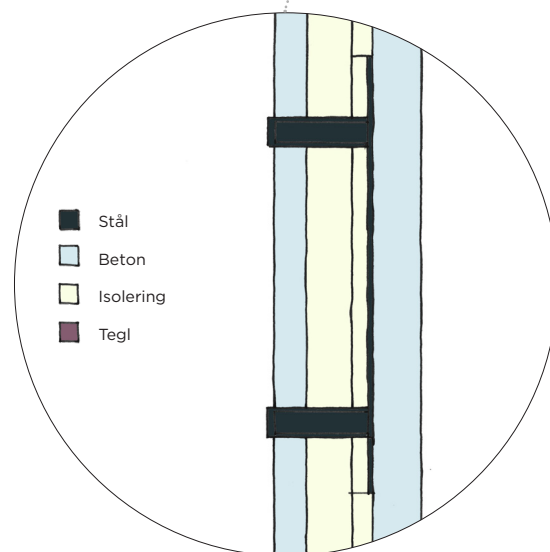
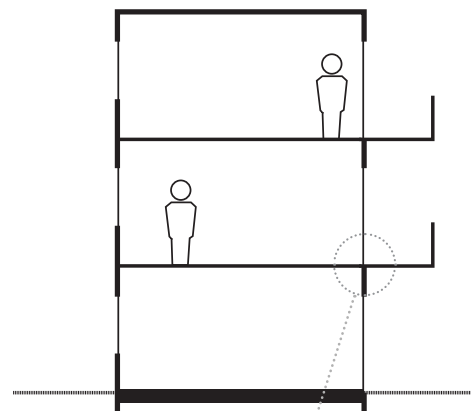
I det følgende præsenteres linjetabet for et typisk altanophæng med tilhørende variationer hhv. for et sandwichelement og et træelement. For sandwichelementet udføres påhængen som to gennembyrde RHS 120x5 påsvejst en UNP 180 som er monteret på bagvæggen. Altanophængen i variation 1 brudt af en neoprenplade i grænselaget mellem formuren og isoleringen, hvor man i variation nr. 2 har placeret en neoprenplade på bagsiden af ophængen, som er fastgjort til bagmuren. Linjetabet gælder for ét af to ophæng pr. altan

For den lette konstruktion i træ udføres altanophængen ligeledes med to gennembyrninger. I toppen er stålberingen fastgjort på træ søjler hvor der i bunden udføres indspændte stål bjælker monteret på en langstående stål bjælke i ydervægskonstruktionens etageadskillelse.

Særlige udfordringer

Altanophængets betydning for transmissionstabet afhænger af omfanget og man må derfor i det enkelte tilfælde vurdere hvor vidt det kan betale sig at stille krav til introduktionen af kuldebrosafbrydelser, da disse kan være meget omkostningstunge og besværlige at udføre i praksis.

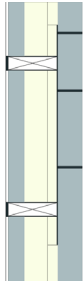
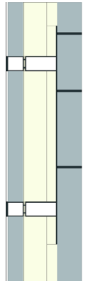
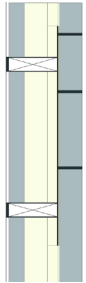
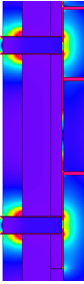
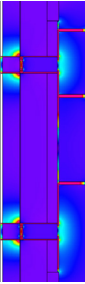
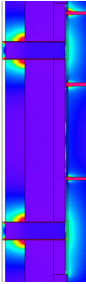
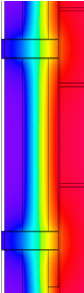

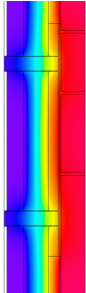
Det kan dog være meget tidskrævende at dokumentere punkt- eller linjetab for en given altanløsning, da detaljeløsninger for altaner ofte er meget individuelle



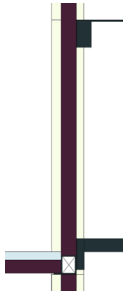
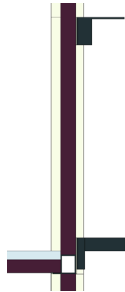
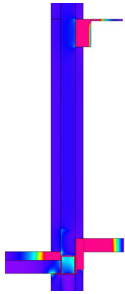
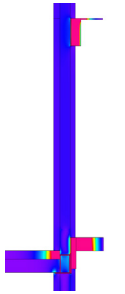


og projektspecifikke. Med mindre der er tale om lineær kuldebro, vil det endvidere kræve en 3D simulering, da løsningen i givet fald give anledning til varmestrømninger i mere end 2 retninger.

For etagebyggeri, hvor altaner udføres som et generelt princip for alle lejligheder, må det forventes at have en relativ stor betydning for den korrigerede U-værdi for ydervæggen.



	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Altanophæng udført i RHS og UNP.	Som reference med ekstra samling i grænselag mellem formur og beton med neopren for kuldebrosafbrydelse.	Som reference med neoprenplade på bagside af beslag mod bagvæg.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Punkttab, χ_k	0,42 W/K	0,29 W/K	0,37 W/K
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	120	110
Begrundelse (indekstal)		Ekstra arbejdsgange med neoprenplade og beton Dyrere materialer i form af trykleger (Isokorp eller tilsvarende)	Ekstra arbejdsgang i med montage af neoprenpladen

Tabel 1. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i altan (sandwichelementer).

	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Stålkonstruktion til altan fastgjort direkte på stål-bjælke i let ydervægs-konstruktion	Som reference hvor sam-lingen er brudt med et materiale som neopren.
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Punkttab, χ_k	Samlet: 0,17 W/K Top: 0,007 W/K Bund: 0,163 W/K	Samlet: 0,12 W/K Top: 0,007 W/K Bund: 0,113 W/K
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	105
Begrundelse (indekstal)		Mere materiale (neopren eller tilsvarende) og ekstra arbejdsgang i forhold til referencen.

Tabel 2. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i altan (lette ydervægge).

EKSEMPLER - NYBYGGERI

Altaner

Etageadskillelse

Murkrone

Udmuring/fals

Elevatogrube

Punktfundament

Skillevægsfundament

Kælderydervægsfundament

Ydervægsfundament

Etageadskillelser

Hvorvidt der kan være tale om konstruktive knuder der giver anledning til kuldebroer i etageadskillelsen afhænger meget af det overordnede konstruktive princip. For principper med en bærende bagmur i beton, herunder sandwichelementer eller påhængte facader, vil isoleringen normalt kunne føres ubrudt igennem etageadskillelsen. For lette konstruktionsopbygninger udført som bærende eller udfyldende facader vil der derimod være et knudepunkt hvor etagedækket enten forankres i en ydervægskonstruktion eller udfyldende facader som ligger af på et betondæk der bryder ydervæggens generelle opbygning. Som nævnt er der normalt ikke tale om direkte konstruktive udfordringer ved etageadskillelser for etagebyggeri med sandwichelementer, men der kan derimod være andre funktionskrav som brand, der kan give anledning til lokal anvendelse af en ikke-brandbar isolering. I tilfælde med overvejende andel af vinduer i facaden, vil etageadskillelsen udgøre en betydelig andel af det samlede facadeareal og dermed kan anvendelsen af isoleringsmateriale, med en dårligere isoleringsevne, have stor betydning for den resulterende U-værdi.

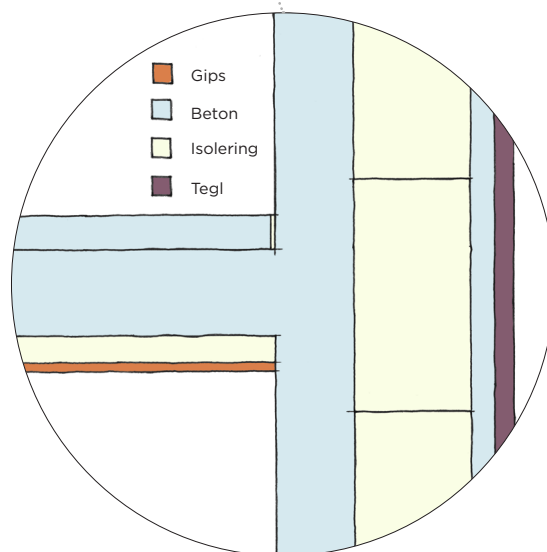
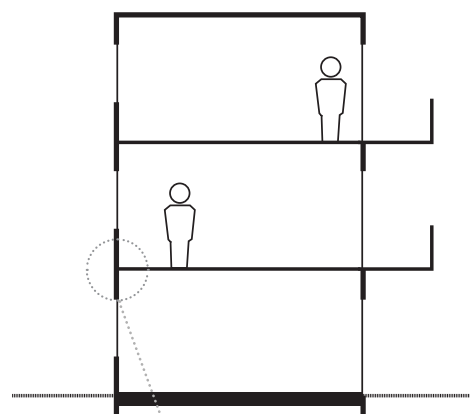
I eksemplet til med sandwichelementet anvendes en trykfast isolering som den primære isolering, hvor man som en del af brandstrategien har introduceret en ikke-brandbar isolering (A2-s1, d0) i etageadskillelsen. Et tiltag som man måske først opmærksommes sent i processen, hvis der er ikke er en god tværfaglig dialog og koordinering.

Brandkravene kan typisk løses på flere måder og man kan dermed undgå et brandstop i etageadskillelsen, men det kan i stedet have konsekvenser for andre parametre, som eksempelvis vinduesfals. Man skal derfor være opmærksom på om problemet elimineres eller blot flyttes.

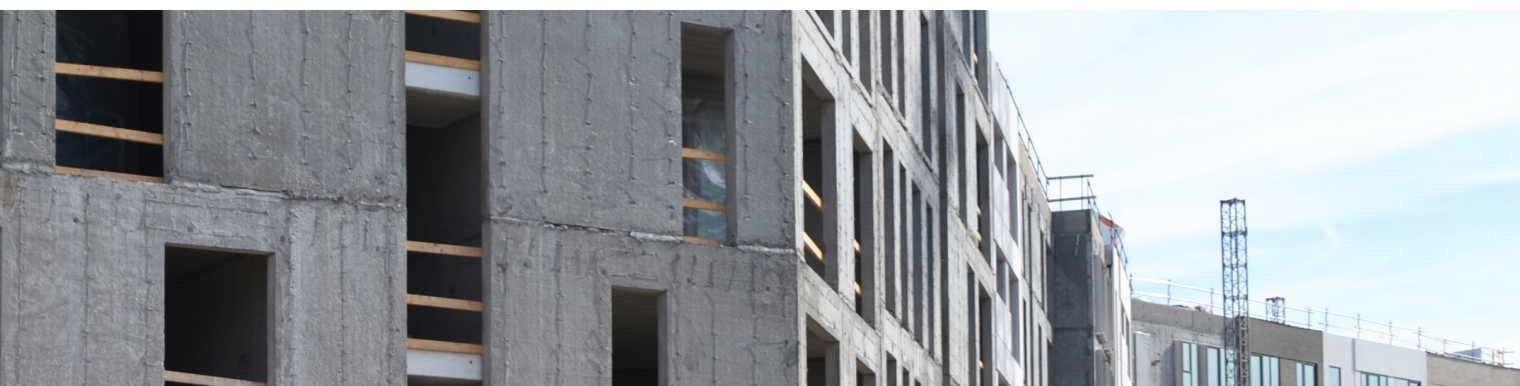
NB! Brandkrav varierer meget efteranvendelse og udformning og kræver derfor en individuel bearbejdning. Nærværende er alene et eksempel på faldgrupper og betydende parametre i en dokumentationsproces. For de øvrige eksempler med lette konstruktionsopbygninger varierer principperne mellem bærende facader og udfyldende facader. Der kan derfor være tale om meget varierende konstruktive tilgange hvor det kan være svært at fastlægge et økonomisk indekstal på baggrund af én detalje.

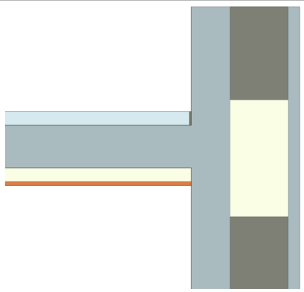
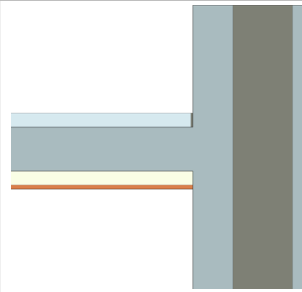
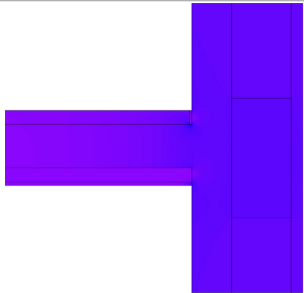
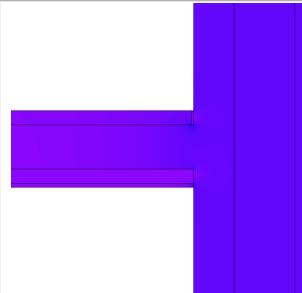
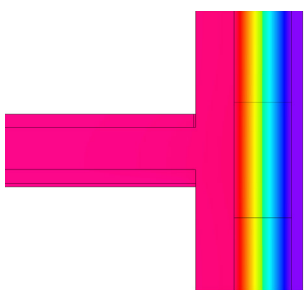
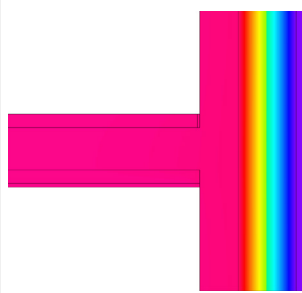
Særlige udfordringer

Det kan være vanskeligt i de tidlige faser at forudsæ funktionskrav til eksempelvis brand, som senere kan vise sig at få betydning for konstruktionens U-værdi såvel som det samlede transmissionstab. Er man opmærksom på at det kan være en reel problemstilling, kan man rejse spørgsmålet og ikke mindst sikre sig at ens bereg-

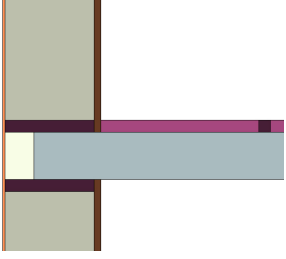
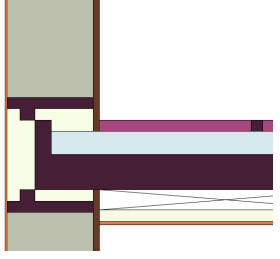
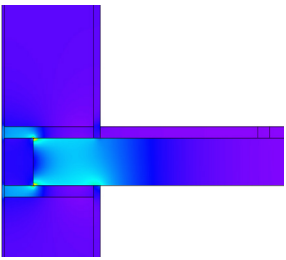
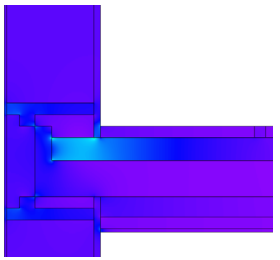
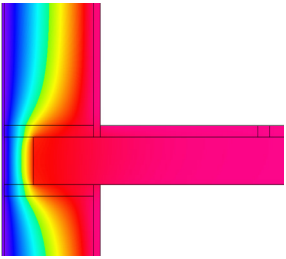
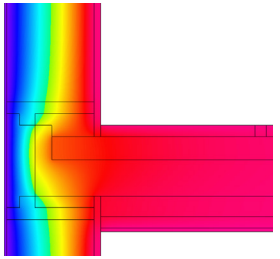


ning har en hvis robusthed overfor ukendte parametre, hvor detaljeprojekteringen udestår. Man skal være opmærksom på at der ved vinduer/døre som går til gulv i ved tungt byggeri, ofte vil være en kuldebro som er væsentlig større end den generelle fals omkring vindueelementet og bør derfor håndteres særskilt. For lette konstruktionsopbygninger vil der typisk være en kuldebro ved etageadskillelsen.

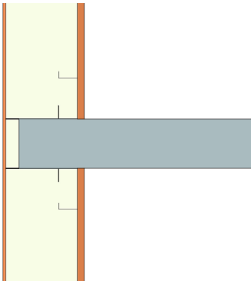
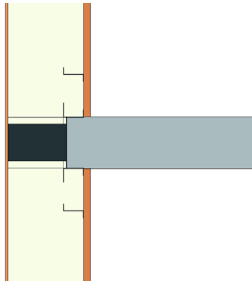
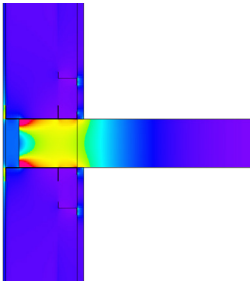
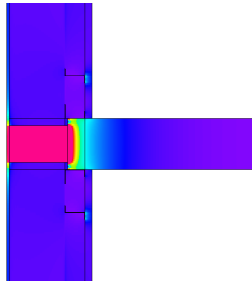
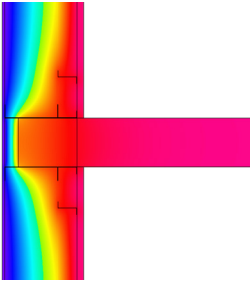
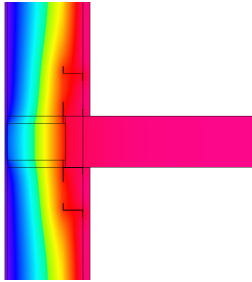


	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Etageadskillelse udført med brandstop isoleringsklasse 37, mod klasse 31 generelt.	Ingen brandstof i etageadskillelse, men brandstop i vinduesfals
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_k	0,011 W/mK	0,0 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	110	100
Begrundelse (indekstal)	Skift af isoleringsmateriale. Midlertidigt stop i arbejdsproces ift. materialskift.	

Tabel 3. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i etageadskillelse (sandwichelementer).

	Reference	Variation 1
Beskrivelse	"Komposit" etagedæk. Limtræ med beton. Træsøjler i facaden bærer dækelement	Etagedæk i beton. Spænder mellem tunge skillevægge i beton. Facaden er ikke bærende
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_k	0,10 W/mK	0,05 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	-	-
Begrundelse (indekstal)	Overordnede konstruktive principper varierer for meget til at kunne lave direkte økonomisk sammenligning"	

Tabel 4. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i etageadskillelse (lette ydervægge).

	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Udfyldende facader. Facade står af på etagedæk.	Påhængte facader. Facade monteret på etagedæk med beslag.
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_k	0,22 W/mK	0,05 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	-	-
Begrundelse (indekstal)	Billigst i indkøb (materialer) men mest arbejdskrævende.	Dyreste løsning ift. samlet omkostning, da det er en systemleverance

Tabel 5. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i etageadskillelse (tyndpladeprofiler).

EKSEMPLER - NYBYGGERI

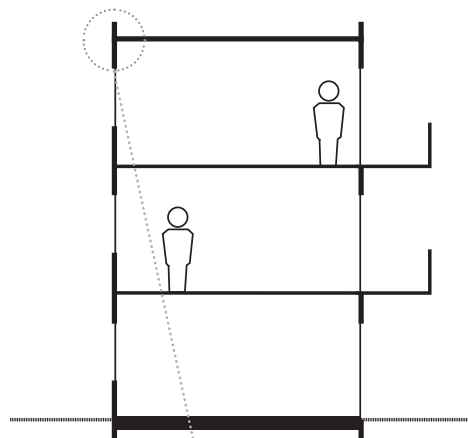
Altaner
Etagedskillelse

Murkrone

Udmuring/fals
Elevatogrube
Punktfundament
Skillevægsfundament
Kælderydervægsfundament
Ydervægsfundament

Murkrone

Murkronen kan variere meget inden for det samme projekt afhængig af om der er tale om tagterrace eller almindelig tagkonstruktion. For sandwichelementer er murkronen ofte kendetegnet ved et betonelement, som gennembrøder tagkonstruktionen, for at skabe stabilitet og samtidig vil sikre en simpel arbejdsgang. Løsningen kan dog give anledning til en væsentlig kuldebro og varieres derfor ofte ved at pakke betonen ind i isolering eller introducere en et materiale som er mindre varmeledende end beton, eksempelvis letklinker, gasbeton eller letbeton. Man skal dog være opmærksom på at de udførelsesmæssige udfordringer, som naturligvis også har betydning for anlægsøkonomien. Ved introduktion af letklinker, gasbeton eller letbeton kræves en fastgørelse til dækelementet, i form af vinkelbeslag eller lignende. Et vinkelbeslag kan have varierende udformning, men vil typisk have et punkttab i størrelsesordenen 0,02-0,04 W/K, forudsat at den er placeret på den varme side af isoleringen. For konstruktionsprincipper med en tung bagmur har bagmurens tykkelse stor betydning. I de følgende eksempler for sandwichelementer er bagmuren forudsat 190 mm

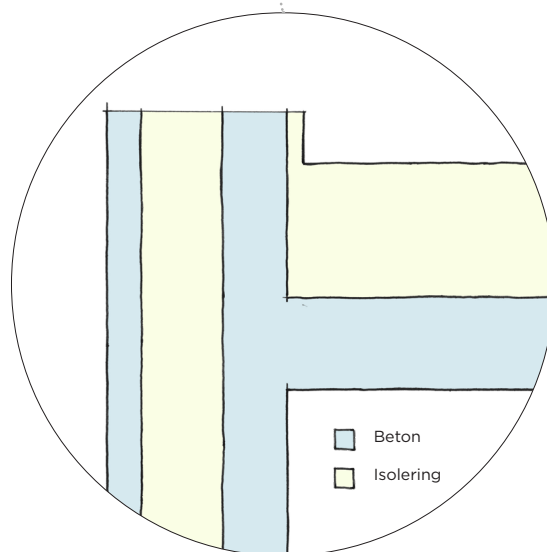


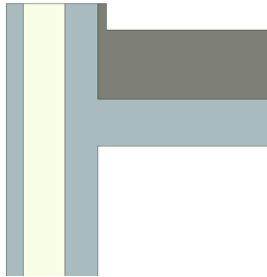
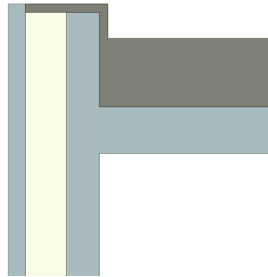
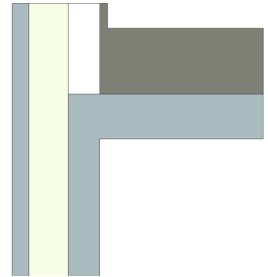
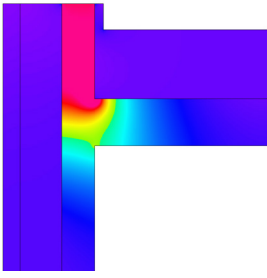
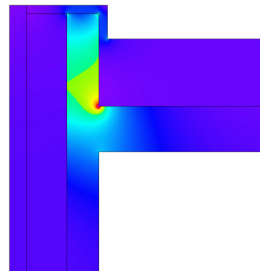
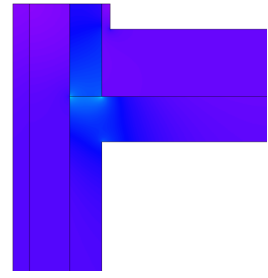
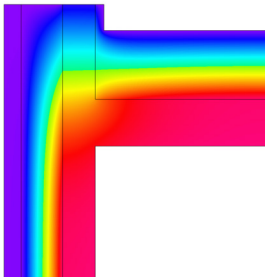
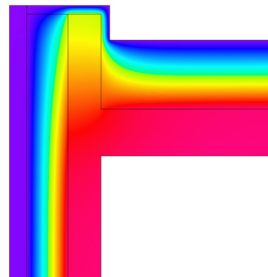
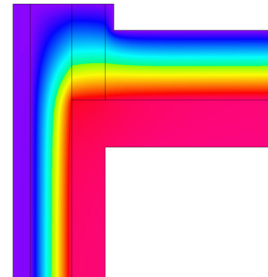
Særlige udfordringer

Som det ses af de følgende resultaterne, kan murkronen i sig selv have en afgørende betydning for bygnings transmissionstab. Betydningen afhænger naturligvis af murkronens omfang og udførelse, men resultaterne understreger vigtigheden af ikke at undervurdere betydningen i de tidlige faser og sikre den gode tværfaglige dialog.

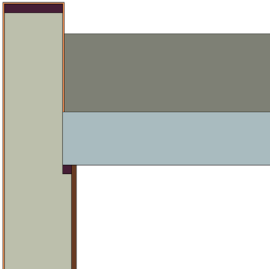
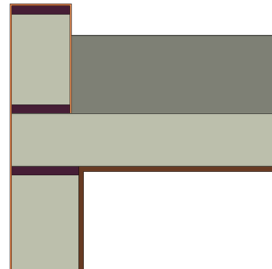
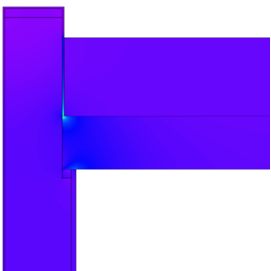
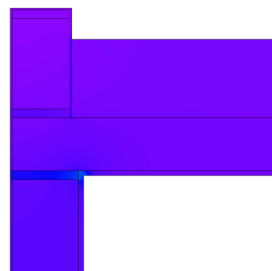
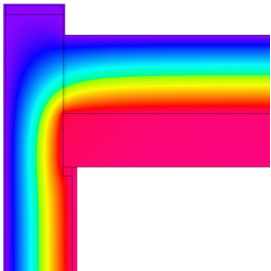
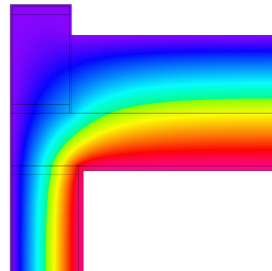
Det er ikke klart defineret hvilken bygningsdel linjetabet skal tillægges, men opmålingsreglerne jf. DS 418 figur 3.6.1 giver anledning til et overlap i samlingen hvormed linjetabet kan fordeles ligeligt for hhv. tag og ydervægs-konstruktionen.

Lette konstruktionsopbygninger vil grundet opmålingsreglerne ofte give en linjetabskoefficient med et positivt bidrag.



	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Murkrone udført med skaft i beton.	Murkrone udført med skaft i beton og 50mm isolering hele vejen omkring.	Murkrone udført med skaft i letklinker, 3 skifter med isolering hele vejen omkring.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,40 W/mK	0,14 W/mK	-0,01 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	115	110
Begrundelse (indekstal)	Hurtigere lukning af ydervæg. Nem og simpel arbejdsproces.	Dyrere materialer og mere kompleks proces med flere arbejds gange ifm. isolering af murkrone.	Flere arbejds gange og forskellige fag (murer).

Tabel 6. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i murkrone (sandwichelementer).

	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Skeletkonstruktion i træ. Alle de primære vægge og bærende konstruktioner udføres i træ.	Betondæk ligger af på bærende skillevægge og galvender.
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_k	-0,047 W/mK	-0,063 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	115	100
Begrundelse (indekstal)	Denne løsning kræver flere arbejdsgange og især et ekstra løft med kran.	

Tabel 7. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i murkrone (lette ydervægge).

EKSEMPLER - NYBYGGERI

Altaner
Etageskilte
Murkrone

Udmuring/fals

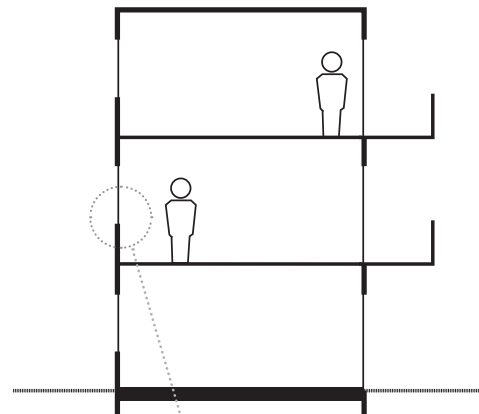
Elevatorgrube
Punktfundament
Skillevægsfundament
Kælderydervægsfundament
Ydervægsfundament

Udmuring / Fals

I vinduesfalsen kan der være flere konstruktive bidrag til den samlede kuldebro; dels er der et linjetab ved spring i isoleringstykkelsen fra ydervæg til fals, og dels er der en forringet varmeisolering i selve falsen grundet den mindre isoleringstykkelse. Disse konstruktive bidrag skal medregnes i ydervæggens U-værdi. Derudover er der også et samlingslinjetab, Ψ_{sa} , som der er et specifikt krav til i bygningsreglementet.

Selvom man skelner mellem vinduets (og karmens) og falsens varmetab, hænger de to bygningsdele sammen rent konstruktivt og har indirekte indflydelse på hinandens respektive varmetab. Kuldebroerne i falsen er derfor en kompleks størrelse, som afhænger af det valgte konstruktive byggesystem, isoleringstykkelse i både fals og ydervæg, materialevalg, vinduestype- og placering.

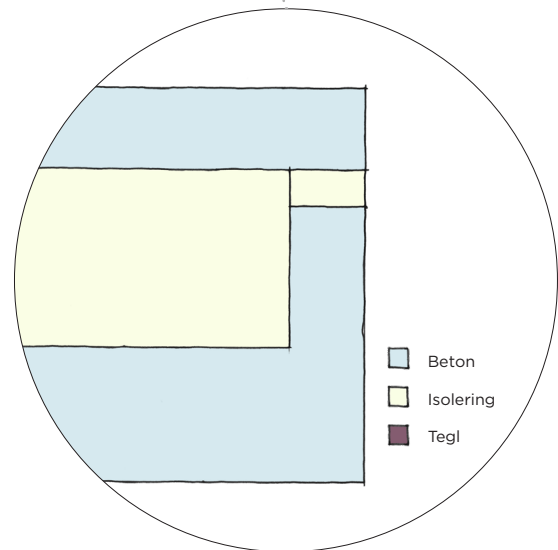
Det konstruktive tab i falsen kan have meget stor betydning for ydervæggens resulterende U-værdi, da den typisk vil optræde i hele vinduets omkreds, og man må derfor ikke undervurdere denne i projektets tidlige faser. Desto mindre andelen af ydervæg er i forhold til vindue, desto større indflydelse vil tabet fra falsen have på den resulterende ydervægs U-værdi.

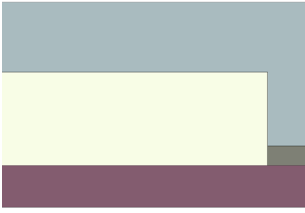


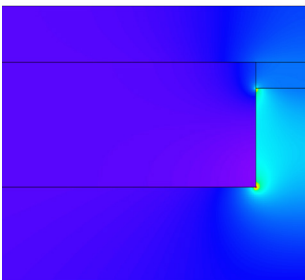

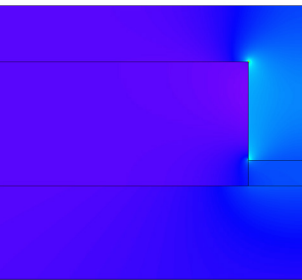
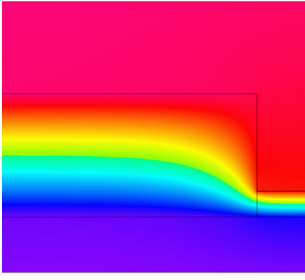
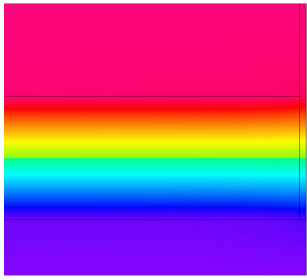
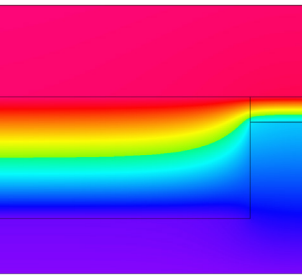


Særlige udfordringer

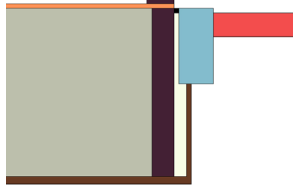
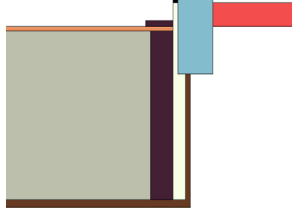
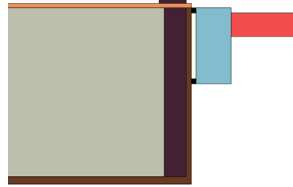
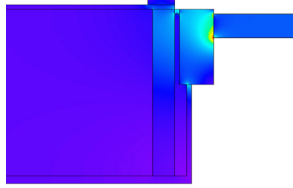
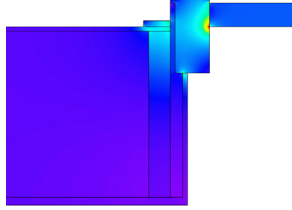
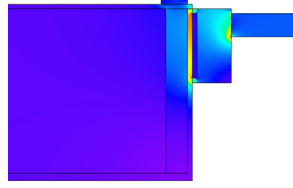
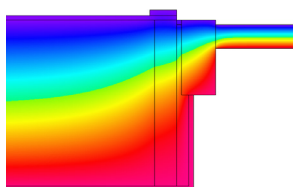
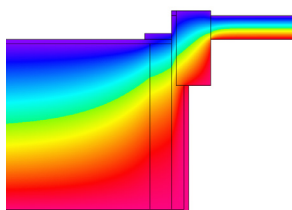
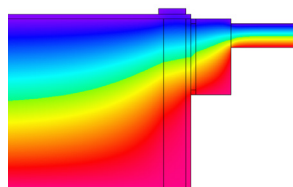
Udformningen af falsen vigtig detalje da den samlet set kan have meget stor betydning for bygningens transmissionstab. Det er samtidig vigtigt at man ikke stirrer sig blind på individuel optimering samlingstabet eller falsens konstruktive kuldebro hvert for sig, men kigger på sammenhængen af de to parametre som meget stærkt korreleret.

Af appendiks ses resultaterne fra en lang række parametervariationer for varierende konstruktionsprincipper, hvor betydningen fra blandt andet isoleringstykkelse i fals og karmens placering er vurderet. Det er ofte en misforstået skrøne at samlingstabet, Ψ_{sa} , kan være 0,00 W/m²K hvis karmen er placeret ud for isoleringen. Med de normale isoleringsmængder der anvendes i en ydervæg i dag, vil man få en tykkelse på den isolerede del som stort set altid vil give et samlingstab på min 0,01 W/m²K uanset konstruktionsopbygning.

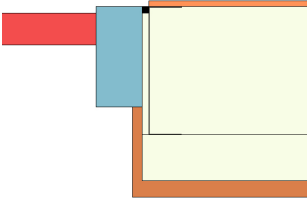
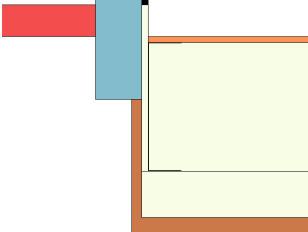
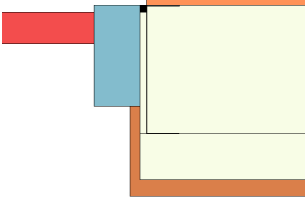
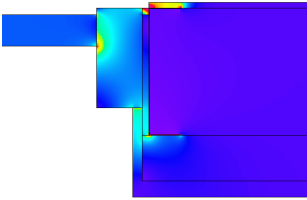
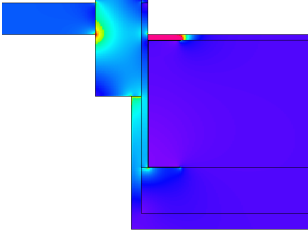
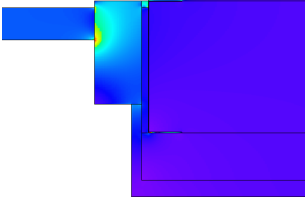
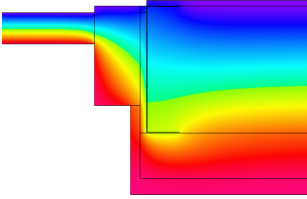
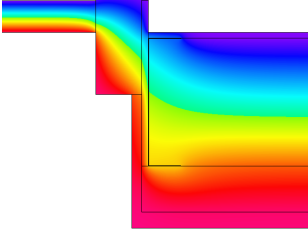
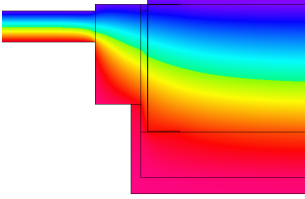


	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Vinduesfals i beton med 50 mm isolering ved formur.	Vinduesfals opbygget som pladefals.	Vinduesfals i beton/ tegl med 50 mm isolering ved bagmur.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,06 W/mK	0,01 W/mK	0,05 W/mK
Linjetab, Ψ_{sa}	0,01 W/mK	0,02 W/mK	0,02 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	120-125	130-135
Begrundelse (indekstal)	Ekstraomkostninger ved indkøb af betanfals. Nem og simpel arbejdsproces. Ikke behov for afdækning eller ekstraarbejder. Tidligt lukket hus.	Større krav til finish (montage/overfladebehandling). Ekstra fagenterpriser på pladsen. Tidligt lukket hus.	Større forbrug af teglsten og mere murerarbejde. Sålænke skal være større. Der er behov for midlertidig lukning.

Tabel 8. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i udmuring/fals (sandwichelementer).

	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Forskudt fals. Vinduet er placeret ud for isolering.	Forskudt fals. Vinduet er forskudt for isolering. Ses ofte hvor man ønsker at ruden flugter med facadebeklædning.	Fals placeret uden på inddækning i lysning og ud for isolering.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,02	0,02	0,02
Linjetab, Ψ_{sa}	0,018 W/mK	0,046 W/mK	0,032 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	110	115	100
Begrundelse (indekstal)	Ekstra falsopbygning, der er mere tidskrævende.	Ekstra falsopbygning, der er mere tidskrævende og yderligere sværere at montere end hvor vinduet er placeret ud for isoleringen.	

Tabel 9. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i udmuring/fals (lette ydervægge).

	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Massiv stålprofil i falsen, vinduet placeret ud for isolering/profil.	Massiv stålprofil i falsen, vinduet placeret forskudt for isolering/profil.	Som ref, men med slidset stålprofil i falsen, vinduet placeret ud for isolering/profil.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,037 W/mK	0,037 W/mK	0,012 W/mK
Linjetab, Ψ_{sa}	0,078 W/mK	0,116 W/mK	0,021 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	105	100-105
Begrundelse (indekstal)	Simpleste arbejdsgang og nemmest at montere. Ingen behov for oplødsning af bundprofil.	Mere arbejdskrævende end reference. Det er nødvendigt med bærevinkler under vindue for at overholde statiske krav.	Svært at montere i slidset profil. Især skal bundprofilet oplødses på bæring.

Tabel 10. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i udmuring/fals (tyndpladeprofiler).

EKSEMPLER - NYBYGGERI

Altaner
Etageskillemur
Murkrone
Udmuring/fals

Elevatorgrube

Punktfundament
Skillevægsfundament
Kælderydervægsfundament
Ydervægsfundament

Elevatorgrube

Elevatorgruber er en detalje, som nemt kan blive overset i processen. Det kan dog være givende anledning til en væsentlig forøgelse af transmissionstabet gennem terrændækket og dermed også en forøgelse af den korrigerede U-værdi. Der er set en tendens til at elevatorgruber ikke isoleres - hverken under eller over bundpladen - med den begrundelse, at "det er ikke normal praksis". En holdning som kan tyde på at detaljen er blevet overset og ikke har været i fokus, når terrændækkets resulterende U-værdi skal beregnes.

Konstruktive bindinger kan have afgørende betydning, for hvordan detaljen kan løses og der kræves derfor ofte en tværfaglig dialog, for finde en passende udformning, hvor bygbarhed, økonomi og energi afvejes. Man bør naturligvis altid være opmærksom på at løsningerne skal udføres under forudsætning af at der sikres mod fugt.

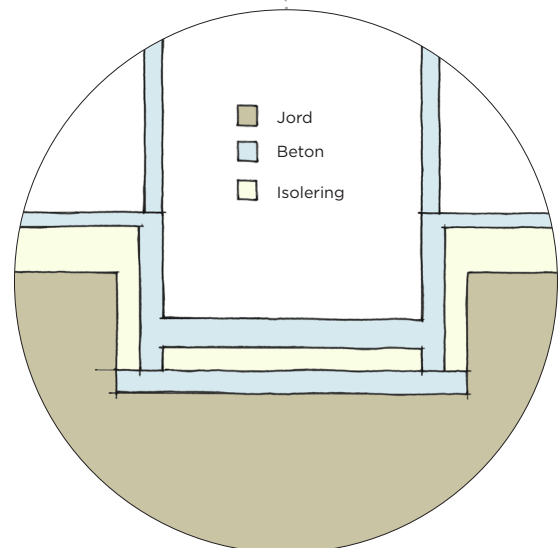
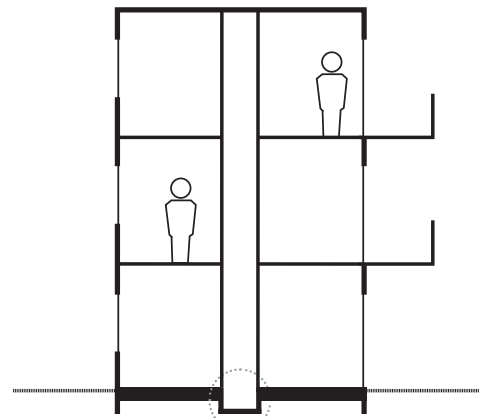
En af årsagerne til at man kunne ønske at undlade isolering af bundpladen er, at der kan være en række anlægsøkonomiske omkostninger forbundet med yderligere afgravning af jord samt håndtering af vandtrykket eller sænkning af drænniveau. Muligheden for at isolere under bundpladen og dermed hele vejen rundt om konstruktionen, afhænger typisk af om der er pælefundering eller hvor store trykkræfter der skal optages.

Beregningerne til højre viser forskellen mellem at isolere bundpladen i gruben eller undlade. Grubens bredde er 2,5 m og isoleres generelt med 200 mm isolering ved sider og bund.

Særlige udfordringer

Linjetabet ovenfor er beregnet som et tab i elevatorgrubens omkreds på baggrund af et 2D snit. For bygninger med et meget lille fodaftryk kan en elevatorgrubes forøget transmissionstab have en meget stor betydning for korrektionen af terrændækkets U-værdi og dermed også overholdelsen af bygningsreglementets minimumskrav på $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. For et etagebyggeri med et mindre terrændæk på 400 m^2 , kan en ukorrigeret U-værdi på $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ alene blive forøget til $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ med en elevatorgrube, som reference med en rand på ca. 10 m dvs. en forøgelse på 33 % af terrændækkets resulterende U-værdi. Herudover kommer eventuelle skillevegsfundamenter.

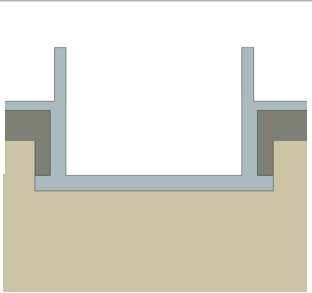
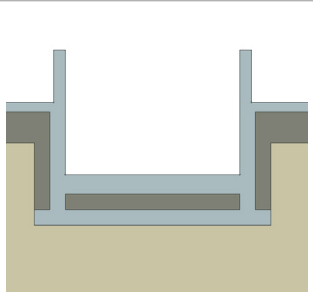
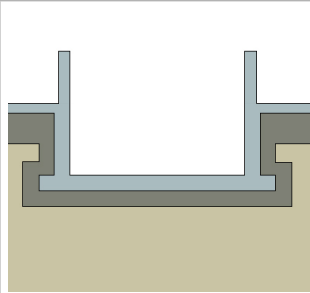
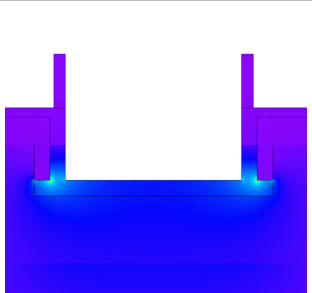
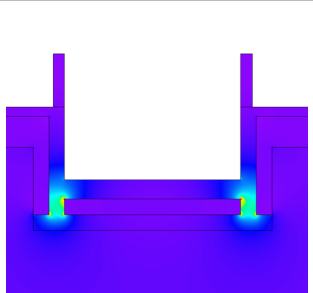
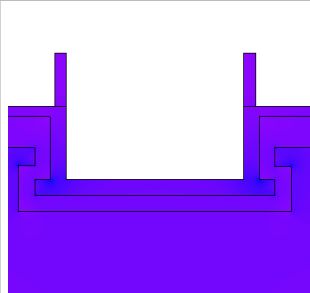
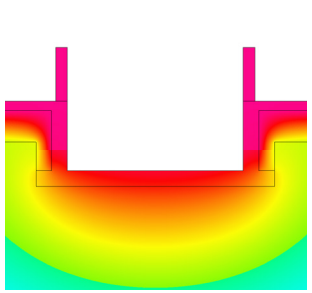
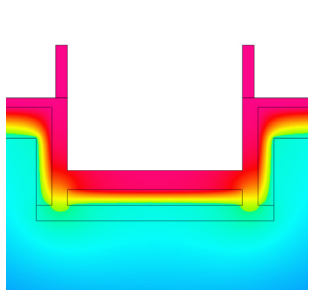
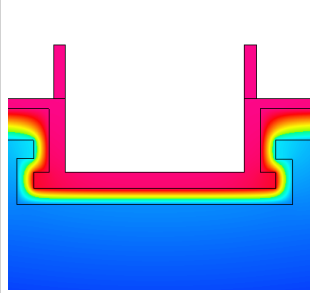
Grundet den lave temperaturforskel for konstruktioner under bygninger mod jord, vil elevatorgruben primært



have betydning for terrændækkets U-værdi og i mindre grad det samlede transmissionstab.

Udformningen af terrændæk og dermed også elevatorgruber er typisk uafhængig af det overordnede konstruktionsprincip (let vs. tung).



	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Ingen isolering af bundplade.	Isolering over bundplade.	Isolering under bundplade.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,93 W/mK	0,48 W/mK	0,17 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	150	120
Begrundelse (indekstal)	Simpel proces	Flere arbejdsgange og behov for at vente på at betonen hærdet før end at der kan isoleres og støbes overbeton.	Flere arbejdsgange og mere kompleks udførelse

Tabel 11. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i elevatorgrube (sandwichelementer).

EKSEMPLER - NYBYGGERI

Altaner
Etageskillemur
Murkrone
Udmuring/fals
Elevatorgrube

Punktfundament

Skillevægsfundament
Kælderydervægsfundament
Ydervægsfundament

Punktfundament

På samme vis som skillevægsg fundamentet skal punktfundamentene indregnes i terrændækkets U-værdi. Punktfundamenter optræder dog sjældent i samme omfang som skillevægsg fundamentet, men søjler og understøtninger til atriumtrapper mv., kan give anledning til store punkttab.

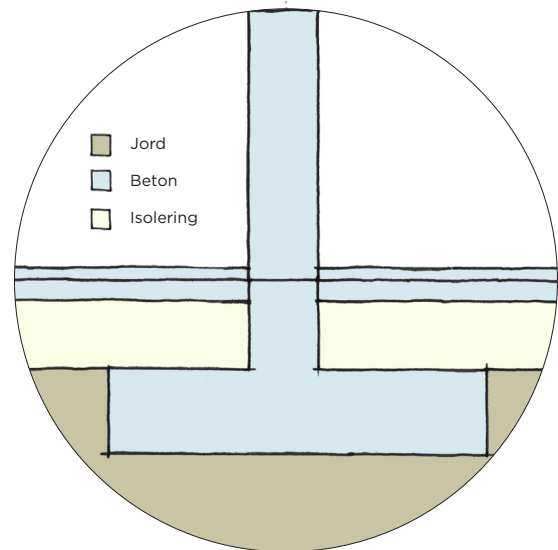
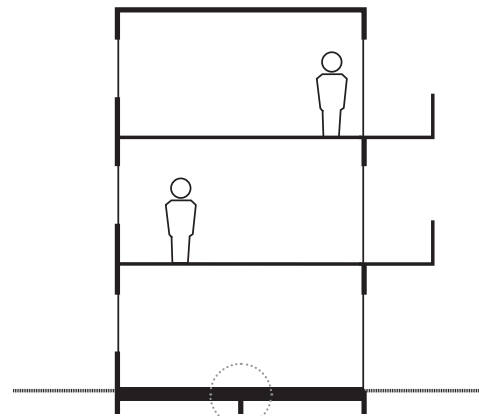
Den konstruktive opbygning hænger naturligt sammen med størrelsen på lasten og har derfor også direkte betydning for punkttabets størrelse. Ved mindre laster kan der optræde letklinker i et punktfundament, hvor ren beton dog må anses at være den mest hyppige konstruktionsopbygning. Anvendelsen af kantisolering afhænger af gulvopbygning og princip for dækkonstruktionen.

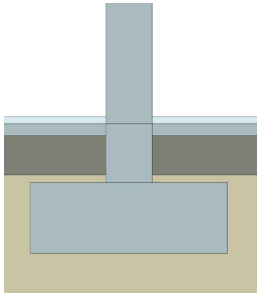
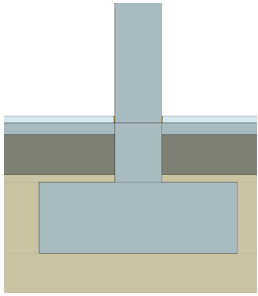
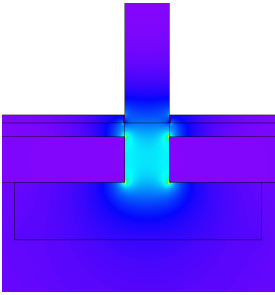
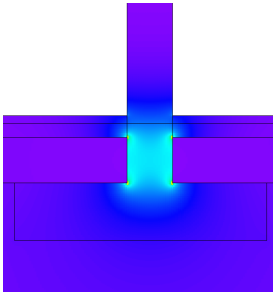
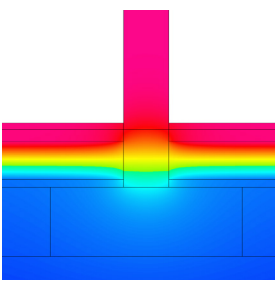
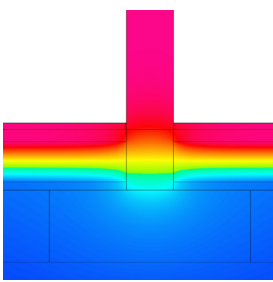
Varmetransmissionen gennem punktfundamenter adskiller sig fra skillevægsg fundamentet ved at være tredimensionale, hvilket komplicerer beregningen af punkttabet en smule mere.

Særlige udfordringer

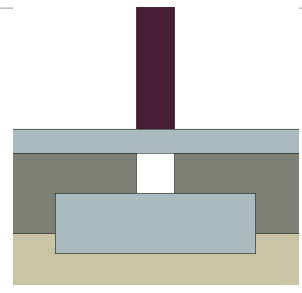
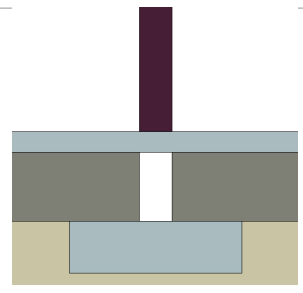
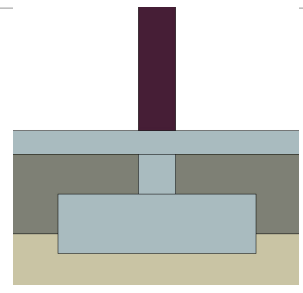
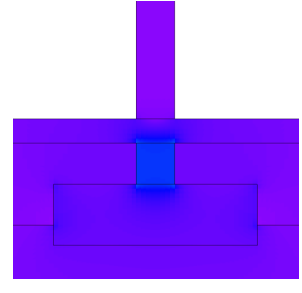
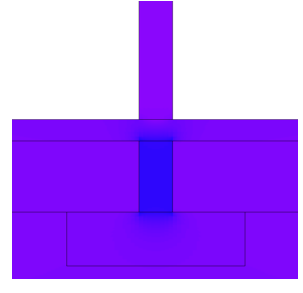
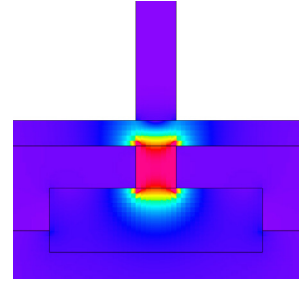
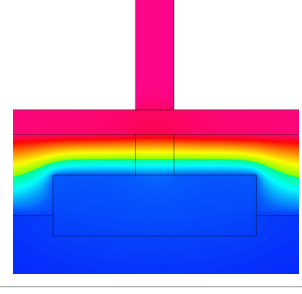
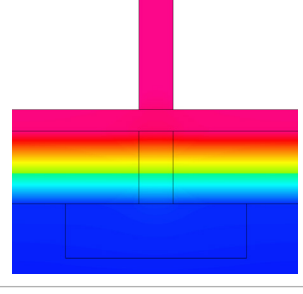
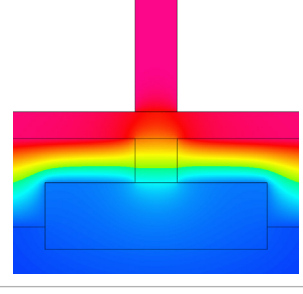
Omfanget af punktfundamenter vil være afgørende for hvor meget opmærksomhed de bør tillægges og hvor detaljeret de angribes. Er omfanget begrænset, bør man blot antage en konservativ betragtning.

I tillæg til de følgende resultater fremgår der en lang række parametervariationer for varierende punktfundamenter af appendiks. Her fremgår det tydeligt at der er meget stor forskel på materialevalg og hvordan det løses rent konstruktivt.



	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Uden kantisolering. Søjle Ø400	Med kantisolering. Søjle Ø400
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Punkttab, χ_k	0,47 W/K	0,46 W/K
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	105
Begrundelse (indekstal)		Meget lig referencen, men dog med ekstra arbejdsgang til etablering af kantisoleringen

Tabel 12. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i punktfundament (sandwichelementer).

	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Træsøjle 185x184 på punktfundament. Gennemgående dæk med skaft i leca.	Som reference med sænket fundamentsblok.	Som reference med skaft i beton.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,09 W/K	0,01 W/K	0,22 W/K
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	110	105	100
Begrundelse (indekstal)	Ekstra fagentreprise og ikke sikkert at letklinkerblokke bærer nok (yderligere omkostninger).	Ekstra fagentreprise og ikke sikkert at letklinkerblokke bærer nok (yderligere omkostninger).	Simpleste med færrest arbejds gange.

Tabel 13. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i punktfundament (lette ydervægge).

EKSEMPLER - NYBYGGERI

Altaner
Etageskilte
Murkrone
Udmuring/fals
Elevatorgrube
Punktfundament

Skillevæggsfundament

Kælderydervæggsfundament
Ydervæggsfundament

Skillevæggsfundament

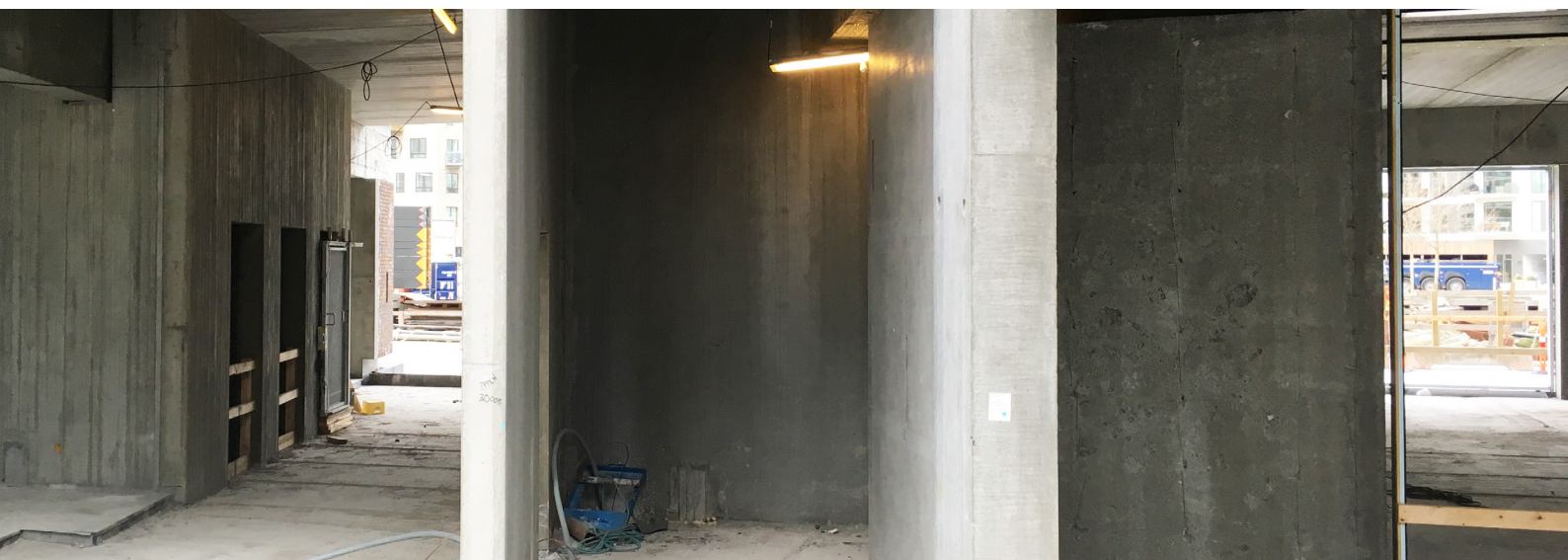
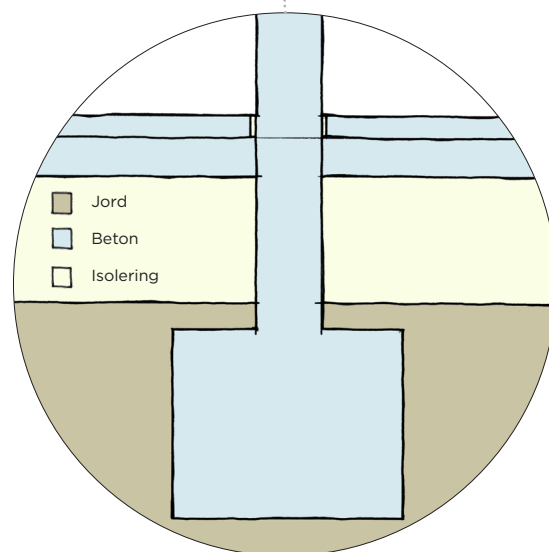
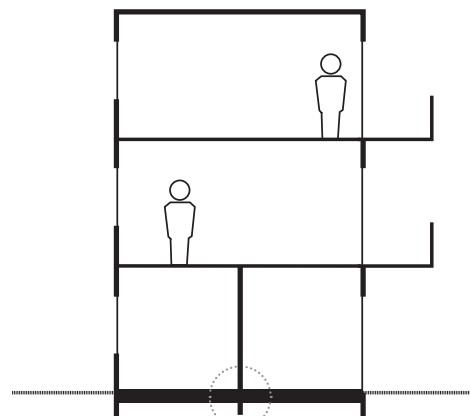
Skillevæggsfundamentet skal indregnes i terrændækkets U-værdi. Det må være undtagelsen hvor et givent projekt ikke har skillevæggsfundamenter i eller anden udstrækning, som vil have betydning for terrændækkets U-værdi. For én-familiehuse og lignende, vil der typisk være tale om skillevæggsfundamenter som letklinker, som ikke vil have samme indflydelse som gennembrydende beton. Erfaringer viser, at skillevæggenes betydning ofte undervurderes og at terrændækkets U-værdi derfor ikke korrigeres tilstrækkeligt. Der vil ofte være en række tværfaglige bindinger, som man skal tage højde for ved et skillevæggsfundament, herunder lyd, statik og bygbarhed. Når detaljerne skal løses vil det være en afvejning mellem energi, funktion, udførelse og ikke mindst robusthed. I mange tilfælde vil den mest energirigtige løsning udfordre bygbarhed og robustheden, hvilket lægger op til en god tværfaglig dialog i processen.

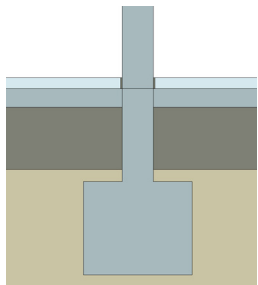
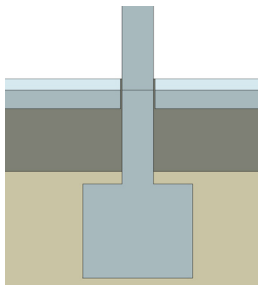
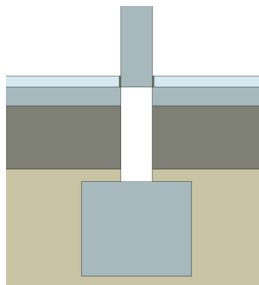
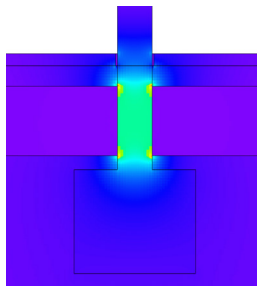
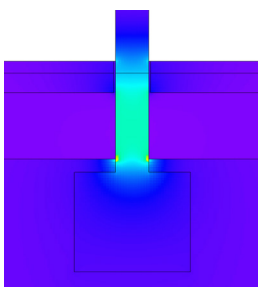
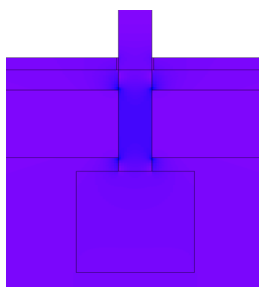
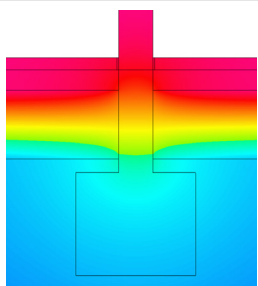
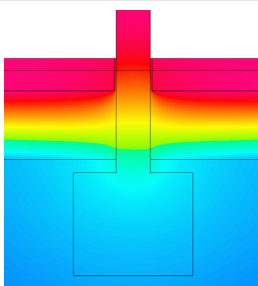
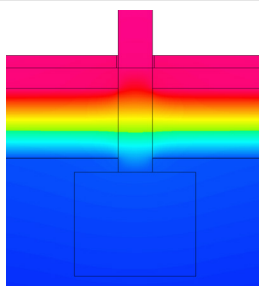
Særlige udfordringer

Erfaringer viser at minimumskravet til terrændækket på $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan blive udfordret og man bør derfor allerede i de tidlige faser vurdere i hvilken udstrækning, der optræder skillevæggsfundamenter og dernæst hvordan det rent konstruktivt løses.

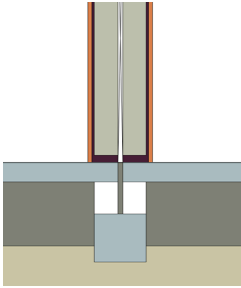
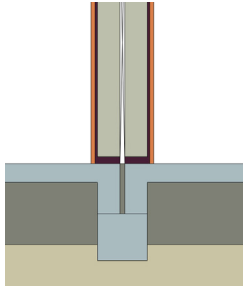
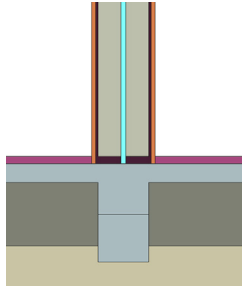
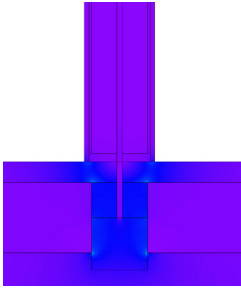
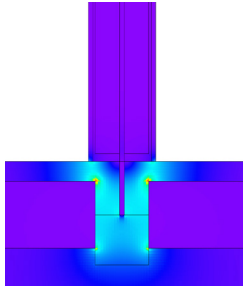
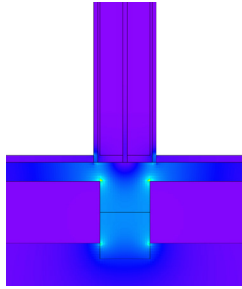
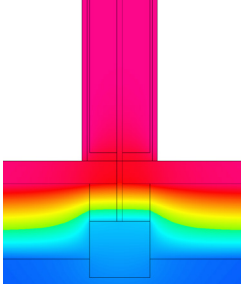
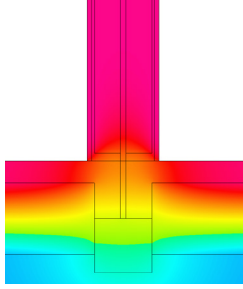
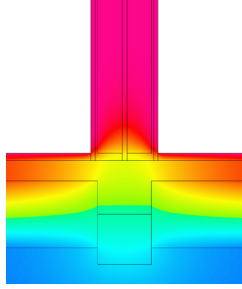
DS 418 angiver nogle forsimplede metoder til fastlæggelse af linjetab for skillevæggsfundamenter. Anvendelsesområdet for metoderne er dog begrænset og kan derfor give anledning til markante afvigelser sammenholdt med numeriske beregninger.

I tillæg til de følgende resultater fremgår der en lang række parametervariationer for varierende skillevæggsfundamenter af appendiks. Her fremgår det tydeligt, at der er meget stor forskel på, hvordan det løses rent konstruktivt.

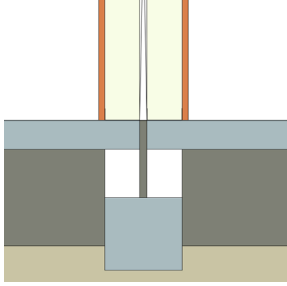
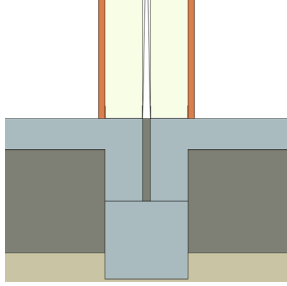
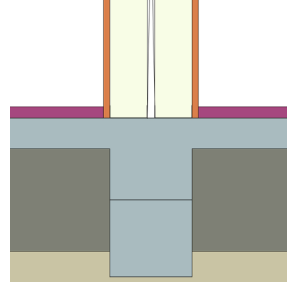
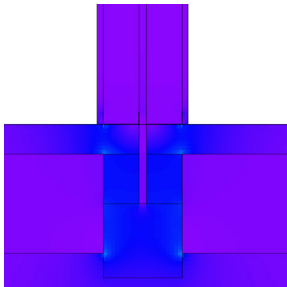
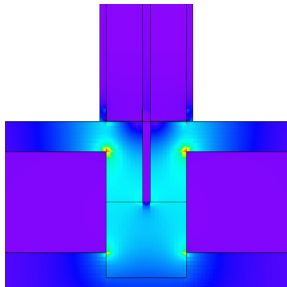
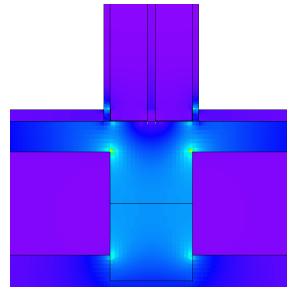
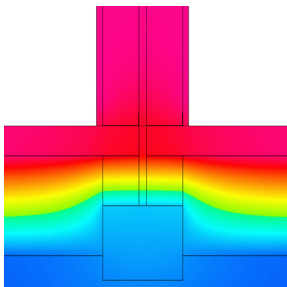
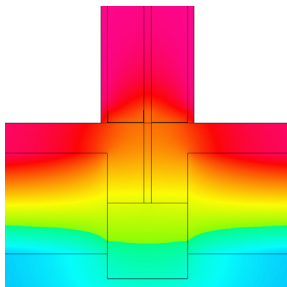
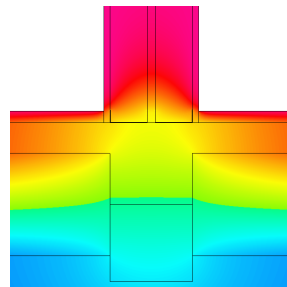


	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	200 mm skillevæg i beton på betonskaft med kantisolering ved slidlag.	200 mm skillevæg i beton på betonskaft med kantisolering ved både dæk og slidlag.	200 mm skillevæg i beton. Skaft udføres som letklinkerblokke.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,39 W/mK	0,35 W/mK	0,05 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	100	105
Begrundelse (indekstal)		Meget lig referencen med dog med ekstra arbejdsgang til etablering af kantisoleringen. Tidsforbruget er dog så småt at det ikke slår igennem i anlægsomkostning.	Mere kompleks arbejdsgang med forskalling og montering af letklinkerblok, inkl. evt fagentrepriseskift. Ikke sikkert at letklinker kan bære i fornødent omfang.

Tabel 14. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i skillevægsguldbundament (sandwichelementer).

	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Skillevæggsfundament ved lejlighedsskel. Lecablokke på betonfundament med midterisolering af hensyn til lyd.	Skillevæggsfundament ved lejlighedsskel. Betonskaft på betonfundament med midterisolering af hensyn til lyd.	Skillevæggsfundament ved lejlighedsskel. Betonskaft på betonfundament med uden midterisolering men trægulv på strør (af hensyn til støj).
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,15 W/mK	0,42 W/mK	0,31 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	110	105	100
Begrundelse (indekstal)	Flere arbejdsgange og evt. behov for skift af fagentrepriser. Evt. yderligere ekstra omkostninger hvis letklinker ikke kan bære.	Isolering giver ekstra arbejdsgange.	Nemmeste løsning med færrest arbejdsgange

Tabel 15. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i skillevæggsfundament (lette ydervægge).

	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Lejlighedsskel i tyndpladeprofiler. Dæk afbrudt med isolering af hensyn til lydkrav. Skaft op fundament udført som leca.	Lejlighedsskel i tyndpladeprofiler. Dæk afbrudt med isolering af hensyn til lydkrav. Skaft op fundament udført som beton.	Lejlighedsskel i tyndpladeprofiler. Samlet betonskaft uden midterisolering. Gulv på strør med isolering nødvendig af hensyn til lyd.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_k	0,15 W/mK	0,43 W/mK	0,32 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	110	105	100
Begrundelse (indekstal)	Flere arbejdsgange og evt. behov for skift af fagentrepper. Evt. yderligere ekstra omkostninger hvis letklinker ikke kan bære.	Isolering giver ekstra arbejdsgange.	Nemmeste løsning med færrest arbejdsgange.

Tabel 16. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i skillevægsgfundament (tyndpladeprofiler).

EKSEMPLER - NYBYGGERI

Altaner
Etageskillemur
Murkrone
Udmuring/fals
Elevatorgrube
Punktfundament
Skillevæggsfundament

Kælderydervæggsfundament

Ydervæggsfundament

Kælderydervægsfundament

Kælderydervægsfundamentet er ikke nødvendigvis afhængig af det overordnede ydervægsprincip - i dette tilfælde et eksempel fra et projekt hvor ydervæggene udføres som sandwichelementer. Derfor kan principper for de angivne detaljer i nærværende eksempler optræde i sammenhæng med andre ydervægs- og konstruktionsprincipper.

Sammenlignet med et ydervægsfundament ved terræn, er kælderydervægsfundamentet begunstiget af jordens isolans og man vil opleve at der typisk ikke kræves det samme af detaljen, for at opfylde mindstekravene i bygningsreglementet. Omvendt kan man opleve andre konstruktive bindinger og udfordringer, som vil have afgørende betydning for fundamentets udformning, herunder vandtryk, jordtryk og jordbundsforhold.

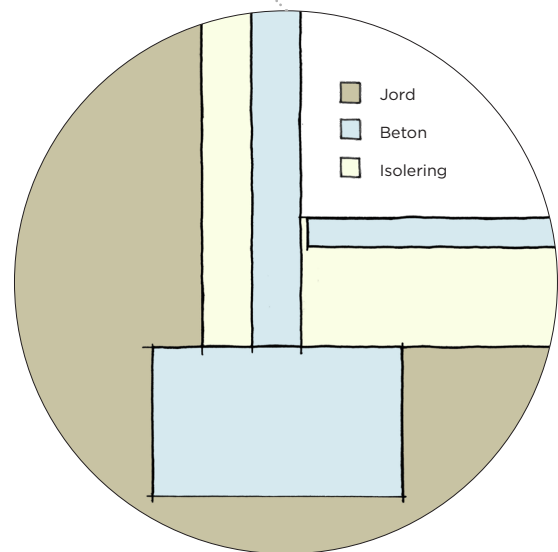
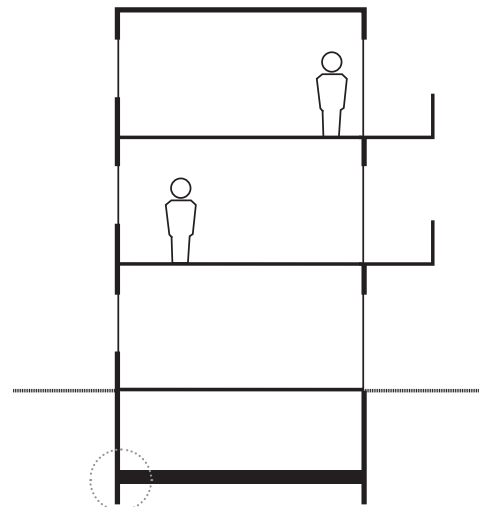
Kælderydervægsfundamentets betydning for bygningens samlede transmissionstab afhænger som så meget andet af bygningens geometri. For en høj bygning med et lille fodaftryk, vil fundamenter sjældent have nogen væsentlig betydning for det overordnede transmissionstab eller samlede energibehov.

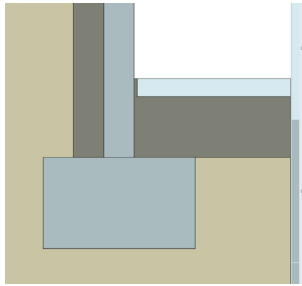
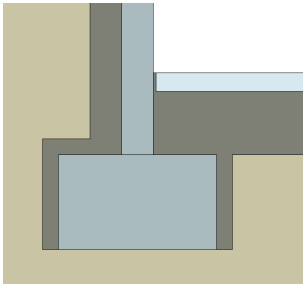
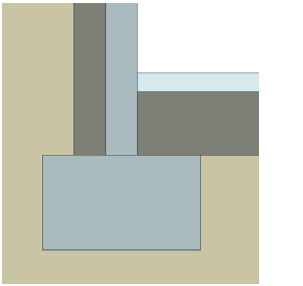
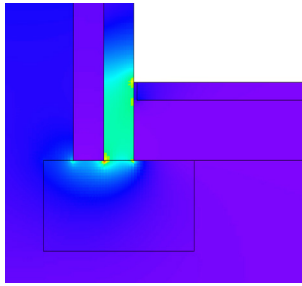
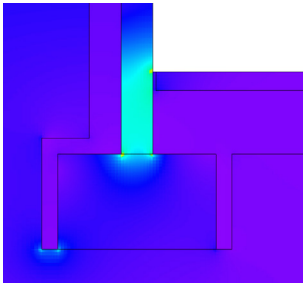
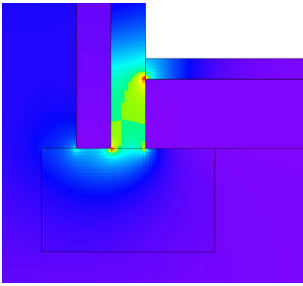
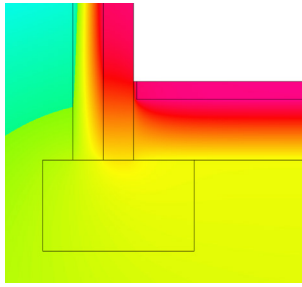
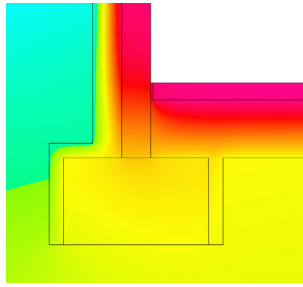
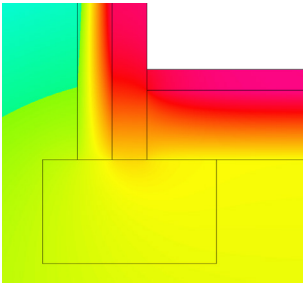
Jf. bygningsreglementet accepteres det at der kan være særlige udfordringer i forhold til linjetabet ved fundament for høje bygninger eller bygninger med vanskelige jordbundsforhold, hvor linjetabskravene i §257 kan fraviges under forudsætning af at der fortsat sikres mod fugt og indeholdes i energirammen og det samlede transmissionstab. En markant kuldebro i mindre udstrækninger kan dog have væsentlig betydning og må derfor i dette tilfælde ikke bare negligeres.

Beregning af linjetabskoefficienter for ydervægsfundamenter sker ved bestemmelse af transiente (tidsafhængige) temperaturforhold og varmestrømninger gennem konstruktionen og udføres iht. DS 418 Anneks D.

Særlige udfordringer

Kælderydervægsfundamenter lider en smule under den forestilling at jorddækket nærmest er isolerende nok i sig selv og derfor måske ikke får samme opmærksomhed. Fundamentet er som nævnt en smule begunstiget af et jorddække, men kræver ofte en bearbejdning gennem tværfaglig dialog. Der findes et begrænset udvalg af opslag med linjetabskoefficienter for kælderydervægsfundamenter og man vil derfor ofte opleve at det vil være nødvendigt at udføre en numerisk beregning af den konkrete detalje.



	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	200 mm bagmur i beton. Kantisolering og udvendig isolering til overkant fundamentsblok.	Som reference med 100 mm isolering foran og bag ved fundamentsblokken.	Som reference hvor dæk er sammenstøbt med bagmur for vandret afstivning.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_f	0,34 W/mK	0,31 W/mK	0,38 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	110	120
Begrundelse (indekstal)		Isolering af fundamentsbjælke på tre sider. Ekstra bortgravning af jord. Udgift til isoleringsmateriale.	Flere tidsforbrugende arbejds gange med montering af stål til sammenstøbning.

Tabel 17. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i kælderydervægsfundament (sandwichelementer).

EKSEMPLER - NYBYGGERI

Altaner
Etageskillemur
Murkrone
Udmuring/fals
Elevatorgrube
Punktfundament
Skillevæggsfundament
Kælderydervæggsfundament

Ydervæggsfundament

Ydervægsfundament

Sandwichelementer er en tung konstruktionstype og stiller derved høje krav til ydervægsfundamentets bæreevne. Hvis den pågældende bygning er meget høj og med et lille aftryk, vil der være relativt få muligheder i forhold til reducere af varmetab fra kuldebroen.

Ydervægsfundamentet er en relativt kompleks og sammensat konstruktionsdel, hvor der er flere parametre som bidrager til varmetabet igennem fundamentet, fx indvendige betonlag (afretningslag), betonbagmur mv. Grundet konstruktive bindinger er det sjældent muligt at minimere kuldebroen, hvor varmeflowet er størst, hvorfor man alternativt må isolere konstruktionen udefra.

Der forekommer ofte udfordring ved sammenbygning mellem facadepartier, terrændæk, og fundament. Facadepartier leveres typiske med minimal karmbredde/bundstykke, hvor under der ved sammenbygning med terrændæk og fundament skal afsættes plads for vederlag for fuge lukning, både udvendig og indvendig.

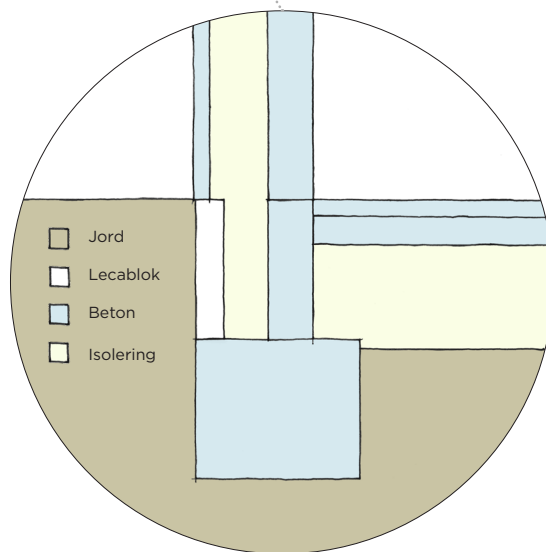
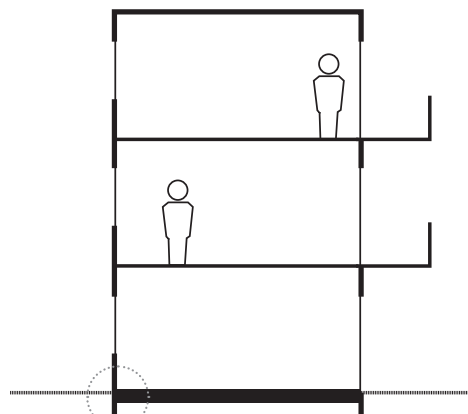
Desuden skal der, under karmbredde/bundstykke, afsættes plads for understøtning og/eller opklodsning af facadepartier. Beskrevne krav ved facadepartier konflikter ofte med tilsvarende krav til kuldebrosisolering mellem fundament (letklinkerblokke) og terrændæk (slidlag/betonplade). Ved større facadepartier indbygges desuden typisk beslag for horisontal fastholdelse af facadepartier, beslag, der tilsvarende lokalt ofte konflikter med kuldebrosisolering.

Beregning af linjetabskoefficienter for ydervægsfundamenter sker ved bestemmelse af transiente (tidsafhængige) temperaturforhold og varmestrømninger gennem konstruktionen og udføres iht. DS 418 Annex D.

Særlige udfordringer

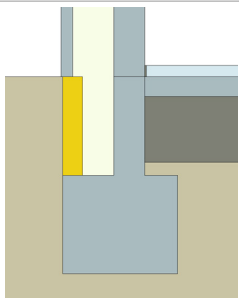
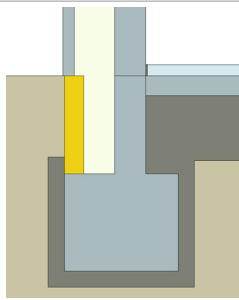
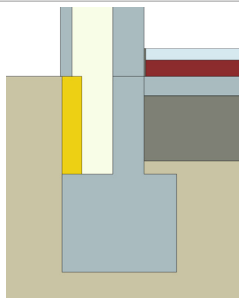
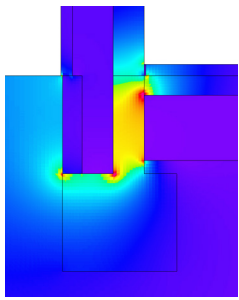
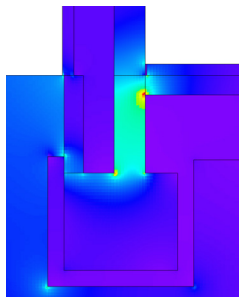
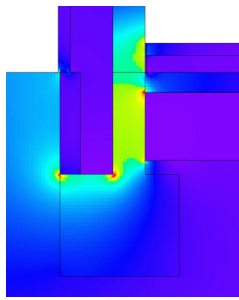
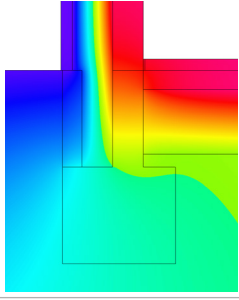
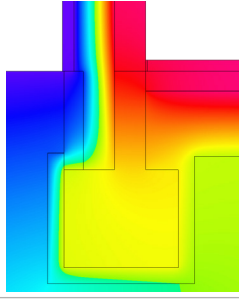
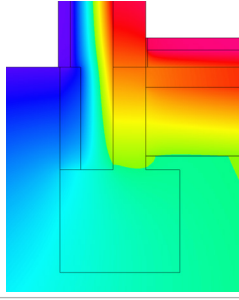
Linjetabskoefficienten for ydervægsfundamenter afhænger meget af det konstruktive princip. Da beton generelt er meget mere varmførende end lette skeletkonstruktioner vil konstruktionsopbygninger med bagmur i beton og betonskafte typisk være de mest kritiske hvad angår linjetab.

Referencefundamentet afspejler i høj grad en løsning som gennem tiden er blevet anset som værende et standard ydervægsfundament. Som det også fremgår af resultaterne, så overholder referencedetaljen ved sandwichydervægge ikke dog ikke bygningsreglementets minimumskrav til linjetabet (0,40 W/mK) og det vil derfor kræve en justering af løsningen for at efterleve

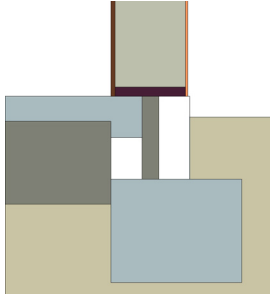
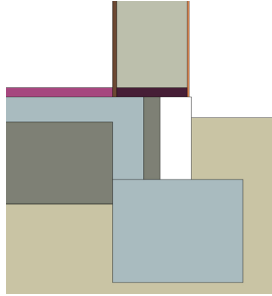
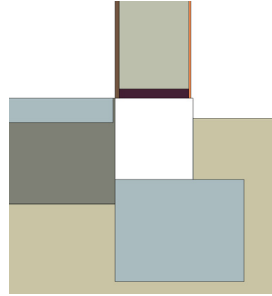
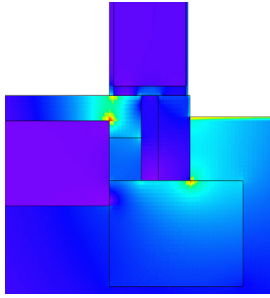
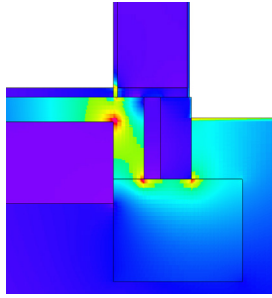
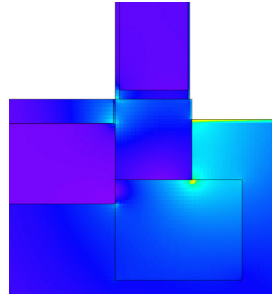
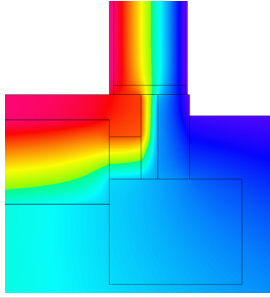
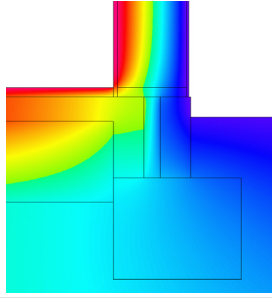
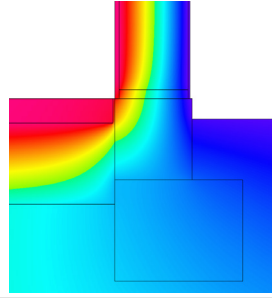


minimumskravet. Løsningerne er baseret en forudsætning om at der skal pælefunderes og derfor vil isolering omkring fundamentblokken også være mere realistisk end ellers. Punktabet fra en pæl (Ø300) er fundet til ca. 0,03 W/K ved numerisk 3D beregning, når der isoleres omkring fundamentblokken.

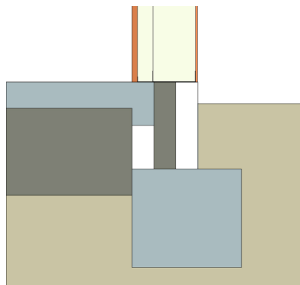
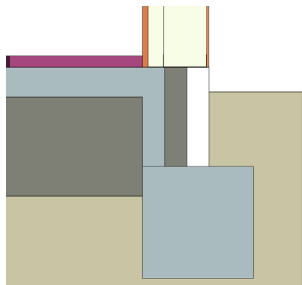
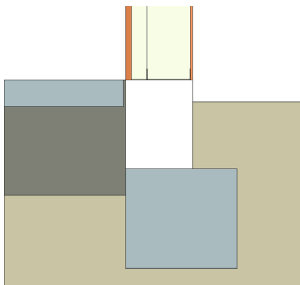
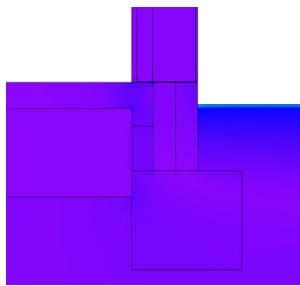
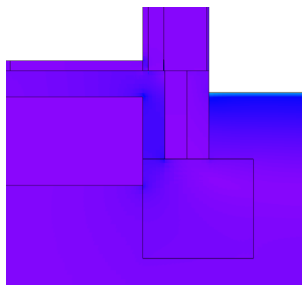
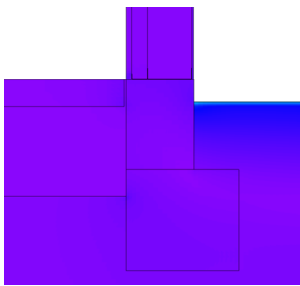
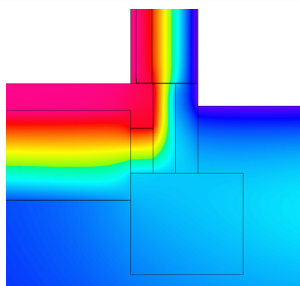
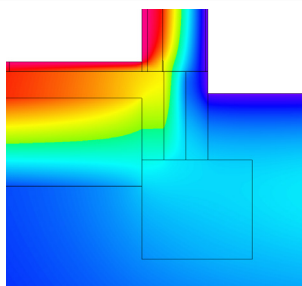
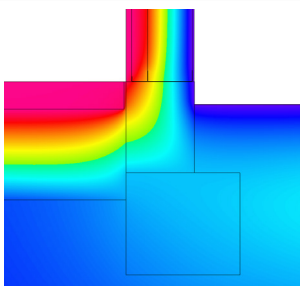


	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	200 mm bagmur på betonskaft med 3 letklinker skifter og kantisolering ved slidlag.	Som reference med 100 mm Isolering omkring fundamentsblok.	Som reference med 100 mm isoleringsmaterialer over betondæk.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_f	0,45 W/mK	0,32 W/mK	0,35W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	100	110-115	110
Begrundelse (indekstal)		Isolering af fundaments bjælke på tre sider. Ekstra bortgravning af jord Udgift til isoleringsmateriale.	Dyrere med EPS-beton ellers som reference.

Tabel 18. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i ydervægsfundament (sandwichelementer).

	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Let ydervæg på lecablokke og betonfundament. Betondæk ligger af på leca.	Let ydervæg på lecablokke og betonfundament. Betondæk med skaft direkte på betonfundament. Trægulv på strør.	Ydervæg på ren lecablok. Kantisolering mellem betondæk og leca.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_f	0,20 W/mK	0,41 W/mK	0,15 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	115	100	105
Begrundelse (indekstal)	Flere arbejds gange. Flere opbygninger med forskalling og efterfølgende af-forskalling. Teknisk svær og tidskrævende løsning.	Simpleste løsning.	Flere arbejds gange og evt. entrepriseskift.

Tabel 19. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i ydervægsfundament (lette ydervægge).

	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Ydervæg i tyndpladeprofil. Betondæk indstøbt med betonskift som ligger af på lecablok.	Ydervæg i tyndpladeprofil. Betondæk indstøbt med betonskift som ligger af på betonfundament.	Ydervæg i tyndpladeprofil på lecablok. Betondæk afbrudt med kantisole-ring.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Linjetab, Ψ_f	0,15 W/mK	0,44 W/mK	0,12 W/mK
Indekstal økonomi (anlægsomkostning)	115	100	105
Begrundelse (indekstal)	Dyreste løsning med mange stop ved indvendig letklinkerblok, der kræver forskalling og af-forskalling.	Nemmeste og simpleste løsning.	Kræver muligvis skift mellem fagentrepriser.

Tabel 20. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i ydervægsfundament (tyndpladeprofiler).

7. Kortlægning - reovering

Når klimaskærmens varmetab skal håndteres i det eksisterende byggeri, herunder kuldebroer, kan der være stor forskel på fremgangsmåden i forhold til om det er ældre eller nyere eksisterende byggeri.

For det ældre eksisterende byggeri, kan der være arkitektoniske og kulturhistoriske bindinger, hvorfor implementering af varmebesparende tiltag kan være begrænset i forhold til bygningens facadeudtryk. Det betyder at håndteringen af kuldebroer ofte vil forekomme på den indvendige side af bygningen, eksempelvis ved indvendig efterisolering. Da konstruktionen består af massive mure og ofte træbjælkelag, kan dette sætte begrænsninger i forhold til implementering af varmebesparende tiltag grundet stor risiko for fugtophobning i konstruktionen. Bygningsreglementet skriver imidlertid, at der kan ses bort fra energikrav, hvis det medfører risiko for fugtskader. Derfor vil fugtrisici ofte være den afgørende faktor for håndteringen af kuldebroer og ikke den potentielle varmebesparelse i sig selv.

For nyere eksisterende byggeri, hvor der ikke nødvendigvis er de samme arkitektoniske bindinger som ved den ældre kategori, kan man principielt udføre samme varmebesparende tiltag som ved nybyggeri. Eksempel-

vis vil bygninger som gennemgår en totalreovering, hvor klimaskærmen "pakkes ind udefra", have samme typer af kuldebroer i ydervægge og tag, som nybyggeri. Dog kan der være andre forhold, herunder økonomi, som vil kunne spille en afgørende rolle for mulige tiltag.

Det samme gør sig gældende ved tagreovering for det ældre eksisterende byggeri.

Der kan være stor forskel på, hvordan man vælger at reovere eksisterende byggeri alt afhængig af hvilken tidsperiode byggeriet er fra og hvordan det rent byggeteknisk er konstrueret. Derfor er kortlægningen af eksisterende byggeri kategoriseret efter samme system som i danskebygningsmodeller.dk, en portal med 3D-modeller af boligetageejendomme og bygningsdetaljer fra fem forskellige tidsperioder.

Bygningsmodellerne i publikationen er anvendt med tilladelse fra parterne bag danskebygningsmodeller.dk

Der er kortlagt 12 projekter fra projektgruppens egen portfolio, som efterfølgende er blevet suppleret med eksterne projekter.





23 DE 02
JIT SAL
BDE





Type 1 er en type af etageejendom, som stammer fra de bygningstyper som udviklede sig i de tætbyggede byer fra og med 1700-tallet. Den består af grundmurrede, massive ydervægge, fundamenter i tegl, tag som vinkeltag/sadeltag, dækket med tegl eller skifer, samt etageadskillelser er træbjælkelag.



Type 2 strækker sig fra slutningen af 1800-tallet og frem til 1920'erne. Bygningstypen har massiv mur, fundamenter i beton, tag som i type 1, men også med mansardtag. Etageadskillelser er træbjælkelag inkl. jernbjælker, hvor det er nødvendigt.



Type 3 opføres fra 1920-1940 og er især udbredt i 1930'erne. Frem til 1950 bliver denne type af etageejendom efterhånden erstattet af type 4 på grund af mangel på jern som byggemateriale under 2. verdenskrig.



Type 4 begynder at opføres i 1940'erne og bliver særligt udbredt i 1950'erne. Rent konstruktivt har denne type mange ligheder med type 3, men hvor hule mure med faste bindere i gavlene erstatter de massive ydervægge. Etageadskillelser er i beton og indeliggende altaner bliver mere almindeligt.



Type 5 adskiller sig fra de andre ved at beton er den eneste bærende konstruktion. Etageejendommene opføres fra 1960'erne og er karakteriseret ved udførelse i præfabrikerede elementer. Ikke-bærende ydervægge kan være lette, tunge en kombination af let/tung konstruktion. Bærende ydervægge kan være sandwichelementer eller betonbagvæg med skalmur. Taget er som oftest fladt, men rejste tage forekommer også.

Figur 15 viser hvordan kortlægningen har kategoriseret og grupperet eksisterende byggeri samt hvilke specifikke og tidstypiske kuldebroer, som hører til under de primære bygningsdele.

I mange boligrenoveringsprojekter er kælderen uopvarmet, hvorfor der vil være et varmetab fra bygningens stueetage og ned mod kælderen. Således er der i kortlægningen tilføjet yderligere en primær bygningsdel, etageadskillelse mod uopvarmet kælder.

Figur 15 viser endvidere to kategorier af ydervægge:

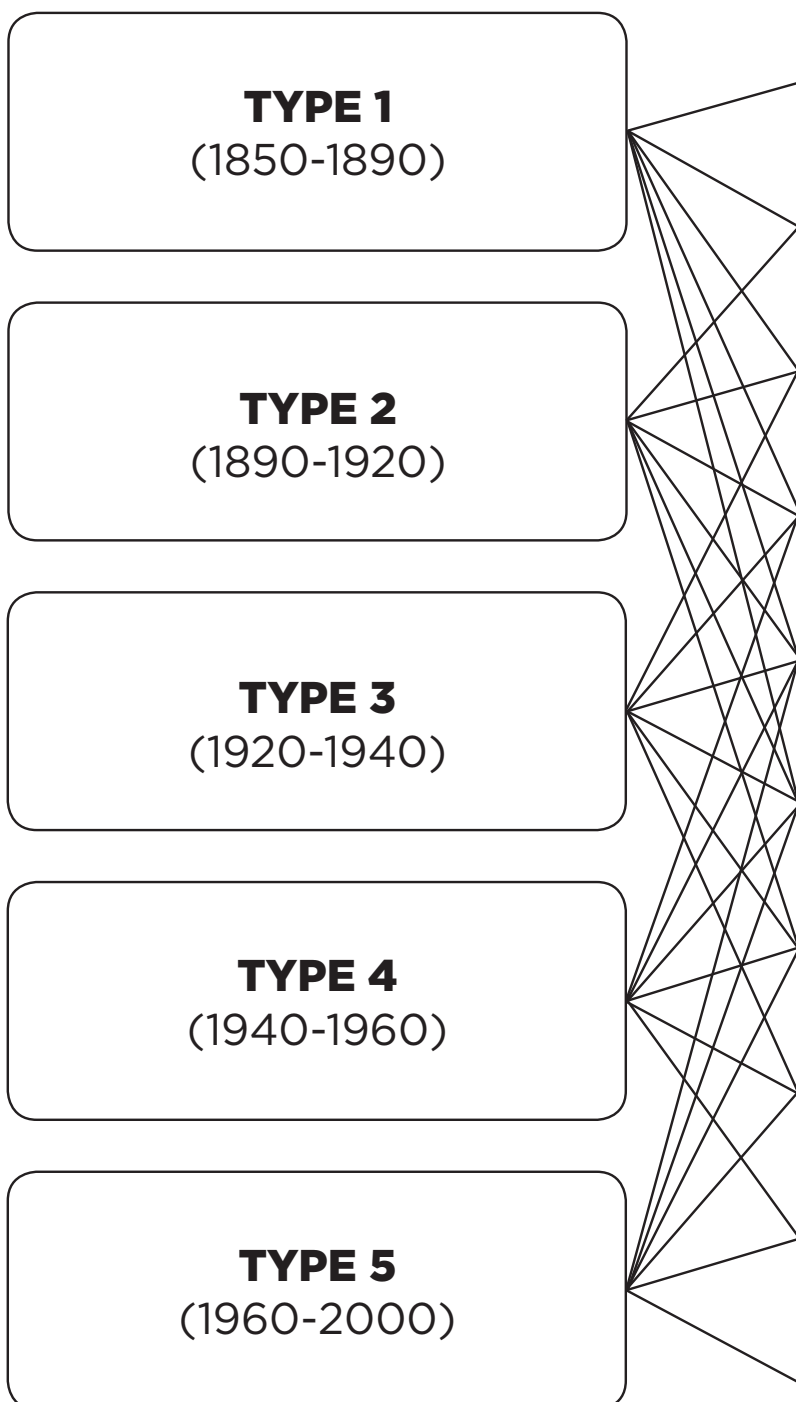
- Massiv mur (type 1 og 2)
- Hulmur, beton eller sandwich (type 3, 4 og 5)

I virkeligheden kan der også forekomme massivt murværk i type 3 og 4, men i denne undersøgelse er kategoriseringen simplificeret grundet de hyppige arkitektoniske og kulturhistoriske bindinger for type 1 og 2.

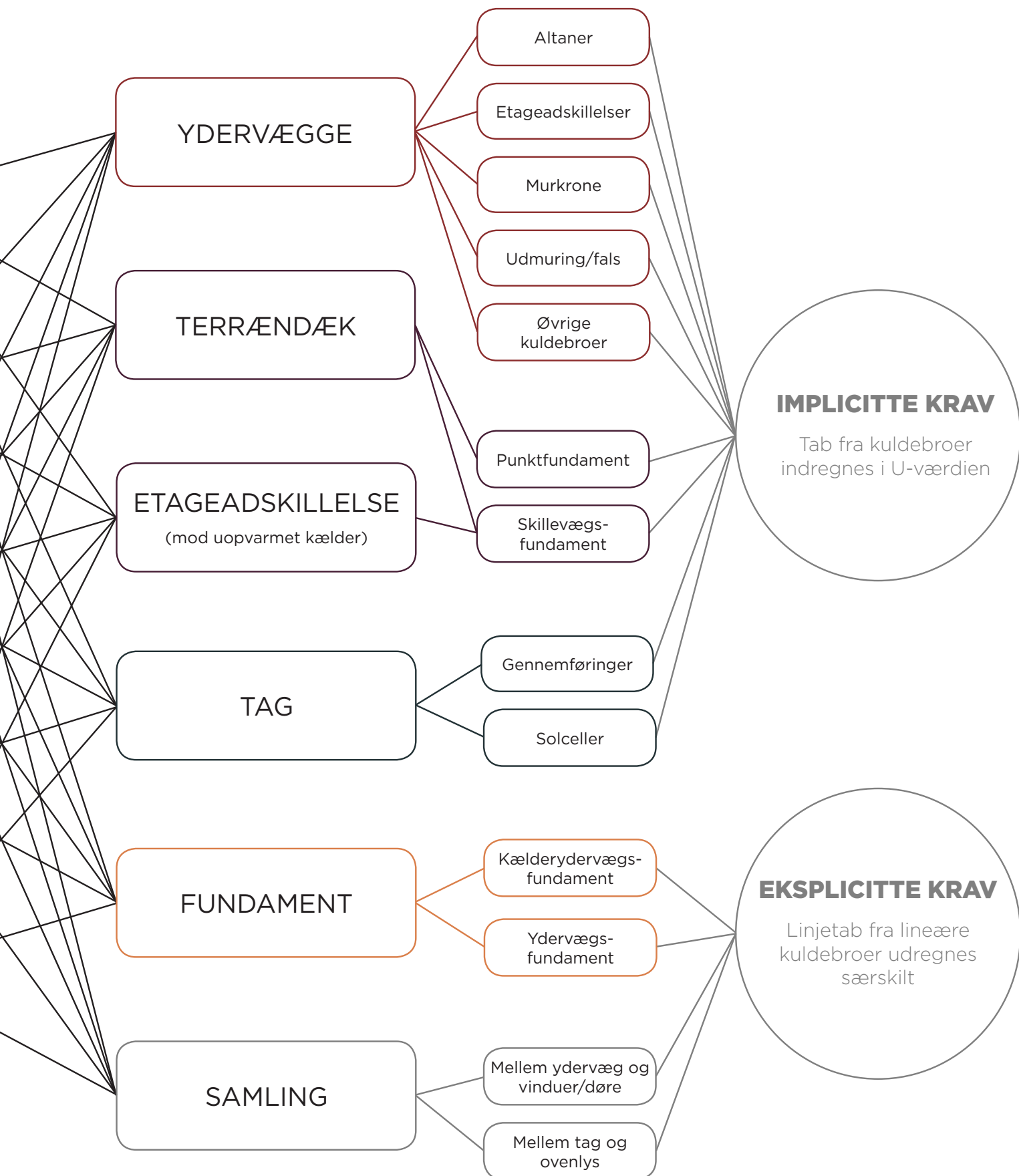
I nogle renoveringsprojekter ses også varmebesparende tiltag på en enkelt bygningsdel, f.eks. taget, gavlen mv. Det samme kan gøre sig gældende i karrébebyggelse for type 1 og 2, hvor der kan være forskellige krav til facaden mod gadeplan henholdsvis facaden mod gårdrum.

Varmetab ved kuldebroer, som hører under ydervægge, etageadskillelse samt tag, skal indregnes i bygningsdelens resulterende U-værdi.

Linjetab fra de lineære kuldebroer, som hører under samlinger eller fundament, skal udregnes særskilt.



Figur 18. Kategorisering af detaljer i forhold til bygningsdel samt ty



Solceller

Placering af solceller i tagfladen sker ved fastgørelse af montageskiner til tagkonstruktionen ved hjælp af specialbeslag, som er udformet til den aktuelle tagbeklædning. For at sikre at panelerne kan modstå vindtræk, er det nødvendigt at gennembryde tagkonstruktionen, hvorfor der opstår konstruktive kuldebroer.

Øvrige kuldebroer

I tagfladen kan der være adskillige gennemføringer, som giver anledning til konstruktive kuldebroer. Det kan eksempelvis være afkast fra ventilationsanlæg, indvendig tagafvanding mv.

Samlinger

I samlinger mellem vinduer/døre og ydervæg samt mellem ovenlys og tag, er der en lineær kuldebro.

Etageadskillelse

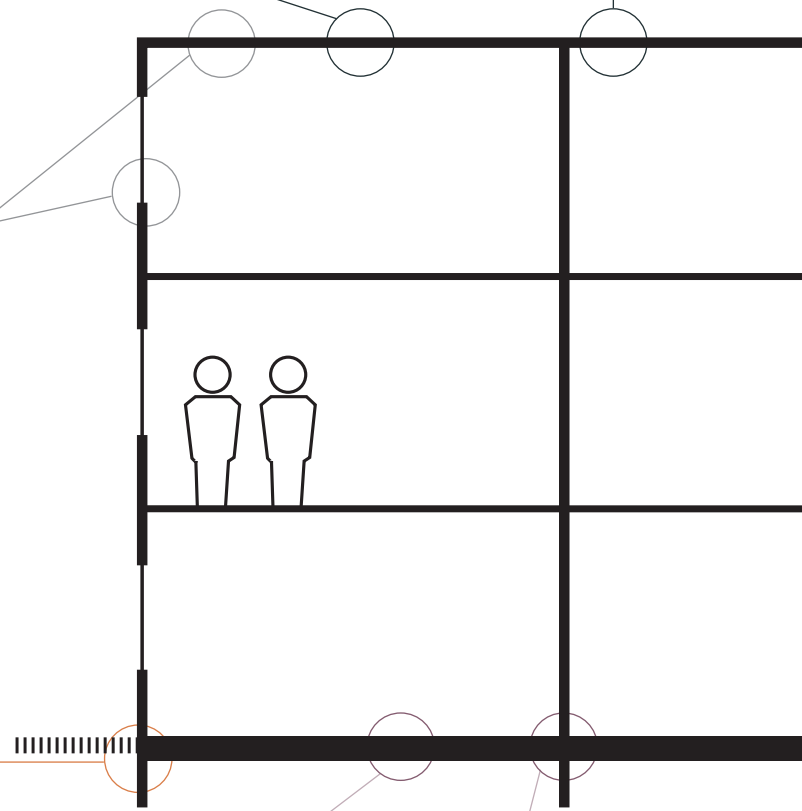
I etageadskillelsen skal der udveksles kræfter mellem etagedæk og den bærende delen af ydervæggen, hvor evt. kuldebroer afhænger af konstruktionsprincippet. Ved et søjle-bjælkesystem vil der typisk være spring i isoleringstykkelsen, som udgør en kuldebro.

Fundament

Linjefundamenter på fast bund er typisk en bredere udgave af ydervæggen og udført af samme materiale, f.eks. murværk eller beton. Ved fundamentet vil der være en lineær kuldebro langs ydervægsfundamentet eller kælderydervægsfundamentet. Ydervægsfundamentets og terrændækkets opbygning påvirker størrelsen på den lineære kuldebro.

Skillevægge

De bærende skillevægge i den uopvarmede kælder udgør konstruktive kuldebroer, da de skal lede de vandrette og lodrette laster ned i fundament.



Figur 19. Oversigt over kuldebroer i etageboliger (enoverri...

Øvrige kuldebroer

I ydervæggen kan der være øvrige kuldebroer såsom karnapper, kviste, gav-lanker, uopvarmede trapperum mv. som udgør potentielle kuldebroer og skal medregnes i ydervæggens U-værdi.

Murkroner

Ved afslutningen af facaden mod taget, kan der være en lineær kuldebro, som følger samlingen mellem tag og ydervæg langs bygningens perimenter. Det kan være eksempelvis være en gesims, tagfod eller en murkrone, alt afhængig af hvilken periode byggeriet er fra.

Altaner

Altaner bliver først implementeret i slutningen af 1920'erne og udføres hovedsagelig med bund i beton. Altanpladerne er ofte båret enten af ekstra jern (f.eks. træbjælkelag) eller armeret beton sammenstøbt med etageadskillelserne.

False

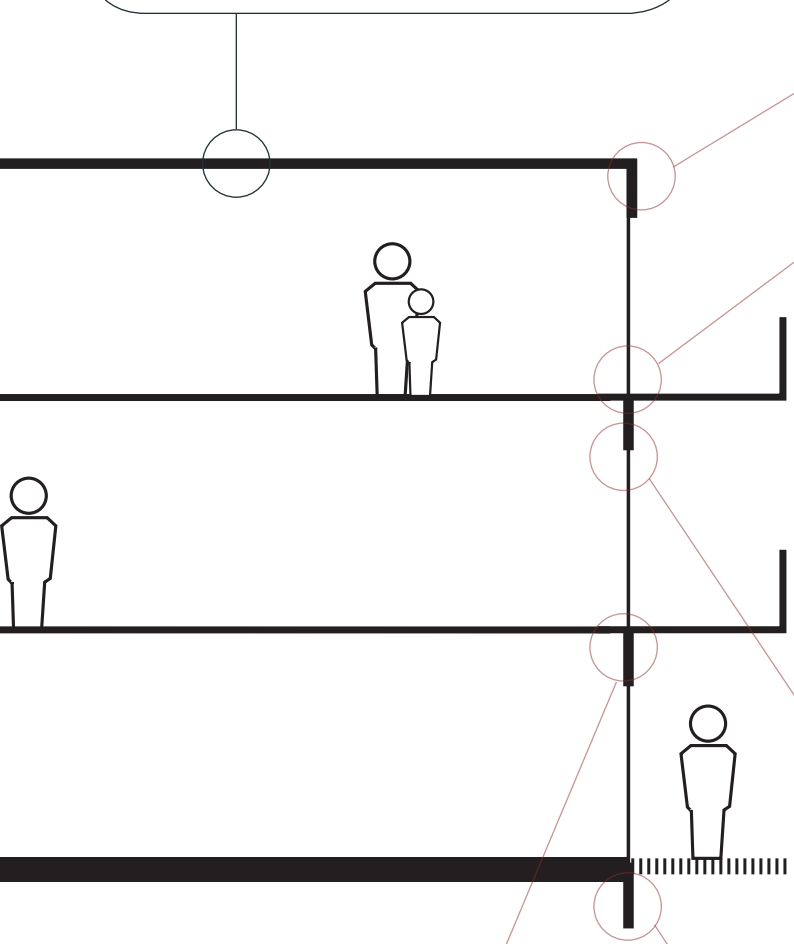
Der er ofte en kuldebro i væggenes falsafslutning grundet en forringet isoleringsværdi samt evt. spring i isoleringstykkelsen i selve falsafslutningen. Man skelner mellem tre konstruktive greb; overfals, sidefals samt bundfals.

Etageadskillelser mod kælder

I etageadskillelsen mod uopvarmet kælder, er der en overgang fra kældermur til ydervæg, som giver anledning til en kuldebro.

Punktfundamenter

I det ældre byggeri er punktfundamenter udført i træ, hvorefter beton blev introduceret i starten af 1900-tallet. Hvis terrændæk eller kældergulv er isoleret, vil der opstå en kuldebro ved gennembrydning af isolering grundet de statiske forhold.



ng).

8. Analyse af udvalgte eksempler - renovering

Der kan være adskillige årsager til at eksisterende bygninger renoveres, f.eks. nedslidning, utidssvarende løsninger og/eller manglende tilgængelighed. I nogle tilfælde kan der også være energimæssige udfordringer og hvor kuldebroer kan være medvirkende til et dårligt indeklima i bygningen. Håndtering af kuldebroer i det eksisterende byggeri bør behandles med varsomhed, da varmebesparende tiltag kan give anledning til nye problemstillinger, herunder fugtphobning, skimmelsvamp mv. som uddybes i det følgende afsnit.

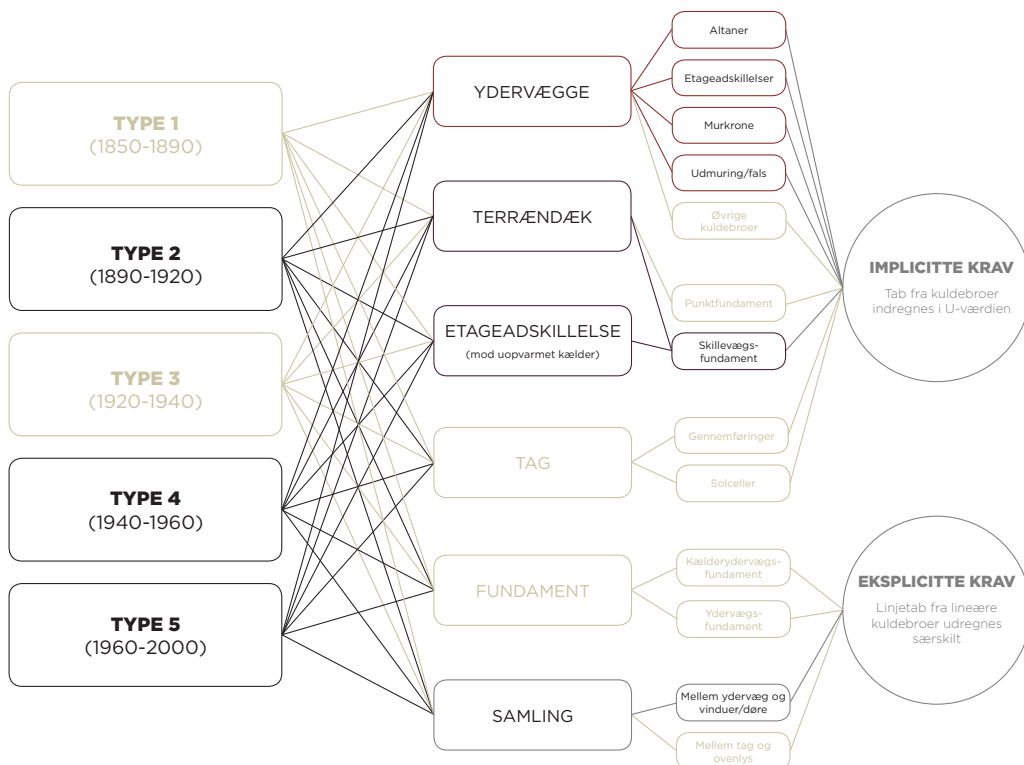
Kuldebroernes betydning i et renoveringsperspektiv

I det ældre byggeri findes kuldebroerne ofte ved vindues- og dørfalser, samlingerne mellem terrændæk og fundament, hvor disse ofte er sammenstøbte, samlingerne mellem etageadskillelsen og facaden, ved tagremme, altaner og karnapper samt ved loft- og skunklemme. Kuldebroerne forøger bygningens varmetab og kan

give anledning til skimmelsvamp, misfarvninger og ikke mindst et dårligt indeklima. Ved en kuldebro er der oftest koldere end ved den omgivende konstruktion, hvor temperaturforskellene kan være så store, at det føles som træk.

Hvis der er store temperaturforskelle på bygningsdelenes overflader, kan dette resultere i sortsævrtning af overfladen. Fænomenet opstår når luften afkøles, i det luftens partikler bevæger sig langsommere i kold luft end i varm luft. Partiklerne i indeluften (sod og skidt fra stearinlys, madlavning etc.) vil derved indfanges i ruheder på de kolde overflader, f.eks. den indvendige overflade ved en kuldebro, og dette vil mørkne overfladen. Termisk sortsævrtning giver ikke problemer med indeklimaet og aftegningerne på vægoverfladerne er alene kosmetisk.

I værste tilfælde kan de store temperaturforskellene forøge risikoen for kondensdannelse på den indvendige side af facaden, som giver gode betingelser for skimmel-



Figur 20. Udvælgelse af detaljer af detaljer i forhold til bygningsdel samt typologi (renovering).

vækst. Skimmelsvampe er en af de mest skadelige indeklimafaktorer, idet det kan resultere i luftvejssygdomme, allergier mv.

Efterisolering af bygningens klimaskærm vil, som udgangspunkt, reducere bygningens varmetab og derved give en bedre komfort og et bedre indeklima.

Efterisolering

Ved efterisolering af bygningens klimaskærmen er det vigtigt at, ikke udelukkende fokusere på minimering af varmekonsumet, men også tage hensyn til de byggetekniske forhold. En udvendig efterisolering af facaden er meget effektiv, da bygningen pakkes ind hele vejen rundt og mange kuldebroer kan minimeres.

Ved indvendig efterisolering vil der opstå større kuldebroer, hvor de indvendige vægge og etageadskillelserne møder facaden. Dette medfører et forøget varmetab og større temperaturforskelle mellem kolde og varme indvendige overflader, og kuldestråling og trækgener bliver større.

Ved indvendig efterisolering af ældre bygninger med træbjælkelag, vil der opstå en kuldebro ved træbjælkelagets vederlag i facaden, idet der ikke kan isoleres ved bjælkeenden af hensyn til fugtrisiko.

Den største årsag til fravælgelse af indvendig efterisolering er risikoen for en række fugttekniske problemer. Indvendig efterisolering kan af flere årsager medføre risiko for skimmelvækst på den eksisterende indvendige vægoverflade bag forsatsvæggen, hvilket ofte fører til at indvendig efterisolering fravælges. Ikke alle ældre murede bygninger er egnede til indvendig efterisolering, da der er en række krav og anbefalinger til ydervæggens materialer, opbygning og ikke mindst til udførelsen af en eventuel indvendig efterisolering. Disse krav og anbefalinger beskrives i byggeskadefondens BYG-ERFA blad (31)151115.

Ud fra en række byggetekniske betragtninger anbefales udvendig efterisolering, da indvendig efterisolering kan give risiko for skimmelvækst.

Ældre bygninger kan være bevaringsværdige eller fredede, hvilket i mange tilfælde resulterer i at facaderne ikke må efterisoleres udvendigt. Hvis en efterisolering af facaden skal etableres, er der derfor kun mulighed for at udføre en indvendig efterisolering. For fredede bygninger gælder særlige krav og alle bygningsarbejder kræver som udgangspunkt tilladelse fra Slots- og kulturstyrelsen. Energimæssige forbedringer håndteres i den konkrete situation ud fra en vurdering af rentabilitet, fugttekniske og indeklimamæssige problemstillinger.

Det primære fokus ved renoveringer er derfor sjældent energi og bygningsreglementets krav, men derimod komfort og gangbare løsninger, som ikke giver fugtmæssige problemer eller forringelser af den bevaringsværdige bygning.

Afgrænsning

Nærværende publikation forholder sig udelukkende til

den energimæssige virkning af kuldebroer og problemstillinger vedrørende fugt vil ikke blive behandlet i denne kontekst.

Summen af eksisterende bygninger strækker sig over mange forskellige tidsperioder med varierende byggeskik, hvorfor der for renoveringsprojekter er langt større variation i konstruktive principper og løsninger. Af kortlægningen fremgår Danske bygningsmodellers definition af de fem overordnede bygningstyper, som strækker sig over en samlet tidsperiode fra 1850 – 2000. Bygninger som falder under type 1 og type 2 vil typisk have arkitektoniske og kulturhistoriske bindinger, hvor løsningsrummet for (energi)renovering vil være begrænset. Bygninger som tilhører type 5 kan derimod undergå alt fra udskiftning af vinduer og blænd felter til totalrenovering ved udskiftning eller efterisolering af hele facadepartier.

Analyserne tager udgangspunkt i udvalgte cases, hvor der er udført energirenoveringer. Der er udvalgt tre repræsentative cases fordelt på hhv. type 2, type 3 og type 4. Type 2 anses for at være repræsentativ for type 1, da de har mange fællesnævner, hvor type 5 ofte håndteres ved udskiftning af hele facader og dermed kan sidestilles med nybyg.

For eksisterende etageboliger vil der typisk være en uopvarmet kælder, hvorfor terrændækket teoretisk set ikke er interessant. Derimod har etageadskillelsen mod kælder stor relevans da man typisk er begrænset af etagehøjde og skillevægge.

Læsevejledning til dobbelttopslag

Detaljerne er fordelt på en række dobbelttopslag, hvor overskriften samt faner i venstre henholdsvis højre side indikerer hvilken detaljeløsning som vises og tilhørende typologi.

Venstre side beskriver de typiske detaljeløsninger samt særlige udfordringer. Højre side viser en tabel, hvor følgende præsenteres:

- Beskrivelse (tydeliggørelse af opbygning af detaljeløsning)
- Detaljefigur (illustration af opbygning af detaljeløsning)
- Varmestrømning (illustration af varmeflow igennem konstruktionsdelen, hvor rød farve repræsenterer høj temperatur og blå farve repræsenterer lav temperatur).
- Temperatur (illustration af temperaturfordeling igennem konstruktionsdelen, hvor rød farve repræsenterer høj temperatur og blå farve repræsenterer lav temperatur).
- Varmetab (de beregnede værdier for linje- og punkttab)
- Afledte effekter for de forskellige variationer.

Ovenstående er vist for 1 referencesituation med 1-2 parametervariationer.

EKSEMPLER - RENOVERING

Altaner

Etageadskillelse
Murkrone
Udmuring /fals (vindue)
Udmuring / fals (hjørnefals)
Skillevæg i uopvarmet kælder
Etageadskillelse mod uopvarmet kælder
Skillevægsfundament

Altaner

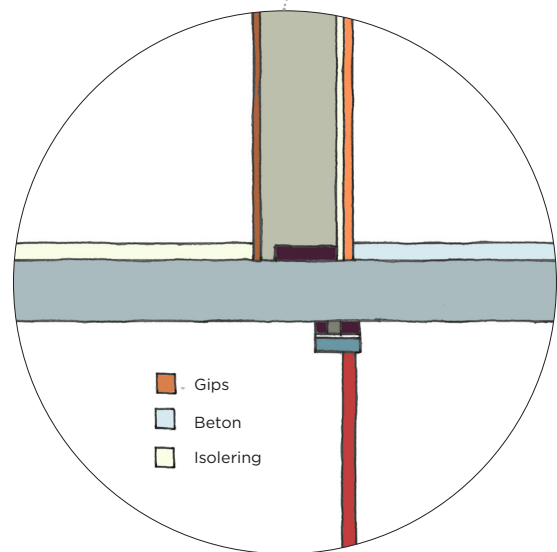
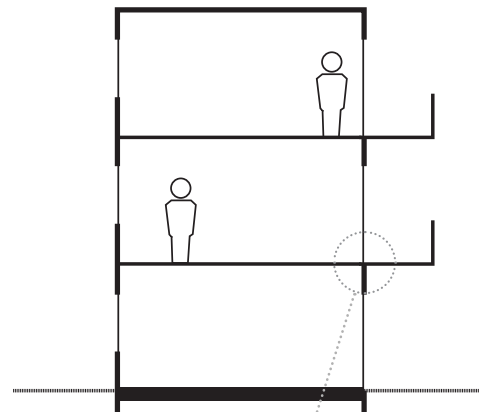
Etageejendomme fra perioden 1940-1960 er karakteriseret ved et mindre paradigmeskifte, hvor de massive ydervægge erstattes af hule mure og etageadskillelser ændres fra bjælkelag til betondæk. I takt med introduktionen af betondæk introduceres de indeliggende altaner.

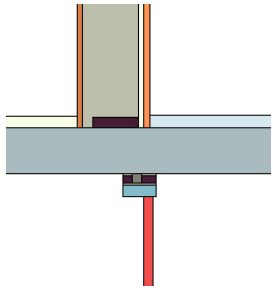
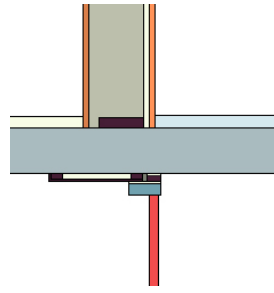
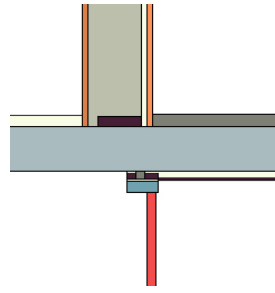
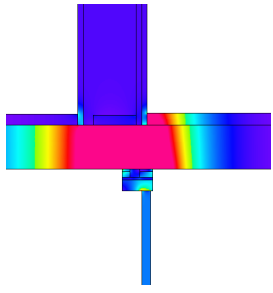
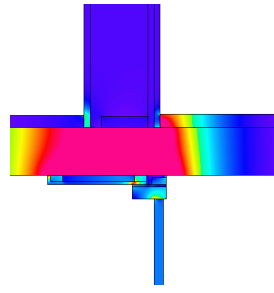
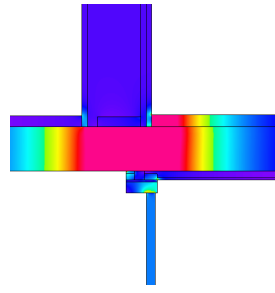
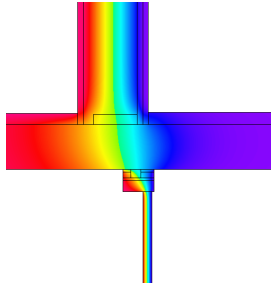
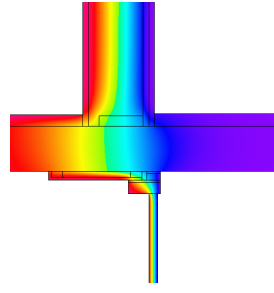
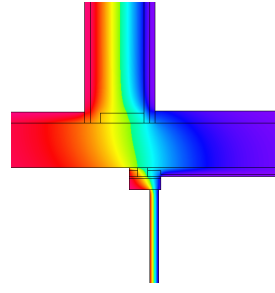
Altankonstruktioner i det ældre etageboligbyggeri fra omkring 1940'erne er ofte udført som udkragende gennemgående betonelementer ført ubrudt gennem klimaskærmen, hvilket virker som en kraftig kuldebro. Kuldebroen kan være vanskelig helt at fjerne, men der kan gøres forskellige tiltag for at minimere varmetabet såvel som trækgener eller kuldestråling. Gulve og lofter ved udkragende betonaltandæk vil virke kolde på grund af kuldebroen, i særlige tilfælde kan det fornemmes som træk. Den lave overfladetemperatur skaber risiko for kondens og skimmelvækst, hvis den kritiske overfladetemperatur overskrides.

Særlige udfordringer

Rent konstruktivt er det vanskeligt at bryde kuldebroen, idet altandækket konstruktivt er en forlængelse af etagedækket, og derfor ikke kan brydes uden betydelige konstruktive og økonomiske konsekvenser. En løsning på kuldebro-problemet vil oftest vurderes økonomisk ud fra et økonomisk og komfortmæssigt synspunkt. Det vil sige, at der efter endt renoveringen fortsat vil være en kuldebro, men trækgener, skimmelvækst og termisk sortsværning vil være minimeret og udbedret. Dette kan sikres ved at etablere isolering på undersiden af det gennemgående altandæk eller udvendig på henholdsvis under- og overside i en beregnet mængde, hvor beregningen skal sikre at den kritiske overfladetemperatur ikke overskrides. Ved indvendig efterisolering flyttes dugpunktet længere ind mod boligen og man skal være meget varsom og kun anvende materialer og konstruktionsopbygninger der sikre at den varme og fugtige luft ikke kommer i kontakt med betonen. Hvis udvendig isolering ikke er muligt vil man ofte acceptere kuldebroen og undgå risiko for kondens.

Læs mere om håndtering af udkragede betonaltaner i BygErfa erfaringsblad (23)100819 Udkragede betonaltandæk - kolde gulve og fugtgener (C. Gudum og J. Rose).



	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Udkraget altan ved renoveret brystning og udskiftet vinduesfacade.	Indvendig isolering under dækkonstruktionen.	Udvendig isolering af udkraget dæk/altan.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Punkttab, χ_k	0,96 W/mK	0,70 W/mK	0,85 W/mK
Afledte effekter	Ved renoveret brystning flyttes dugpunktet længere ind i konstruktionen og giver anledning til risiko for fugt og trækgener hvor dækkonstruktionen bryder facaden.	Indvendig isolering langs dækkonstruktionen minimerer overfladetemperaturen, men kan give øget risiko for kondens da dugpunktet flyttes længere ind i boligen.	Ved at isolere udvendig flyttes dugpunktet længere ud i konstruktionen og risikoen for kondens eller trækgener minimeres betragteligt.

Tabel 21. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i altaner (type 4).

EKSEMPLER - RENOVERING

Altaner

Etageadskillelse

Murkrone

Udmuring /fals (vindue)

Udmuring / fals (hjørnefals)

Skillevæg i uopvarmet kælder

Etageadskillelse mod uopvarmet kælder

Skillevægsfundament

Etageadskillelser

Størstedelen af etageejendomme fra perioden 1850-1920 (type 1 og type 2) er opført med ydervægge i massivt murværk og etageadskillelser med træbjælkelag. Mange af disse bygninger, herunder facader mod gadeplan, er underlagt arkitektoniske og kulturhistoriske restriktioner, hvorfor udvendig efterisolering sjældent er en mulighed.

Ved indvendig efterisolering brydes isoleringen ved etageadskillelsen og der skabes derfor en kuldebro. Etageadskillelsen er normalt opbygget med bærende bjælker i dimensionen 150 mm x 150 mm til 250 mm x 250 mm og spænder på tværs af bygningen. Mellem bjælkerne er der ofte et indskudslag af ler udlagt på brædder monteret med not eller på lister.

Særlige udfordringer

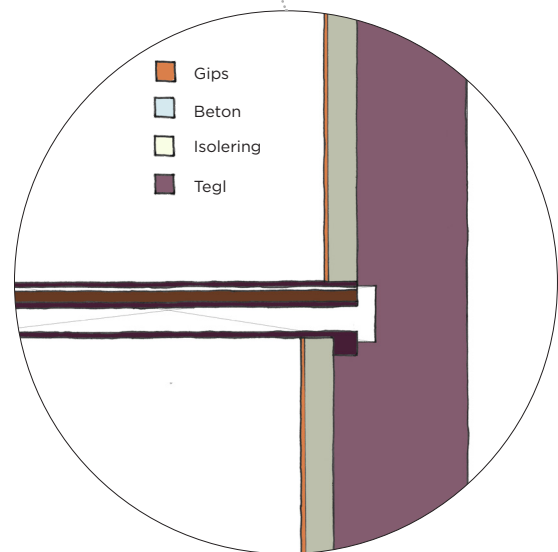
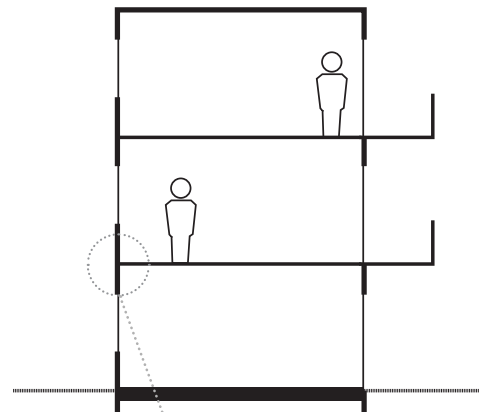
Efterisolering i etageadskillelserne kan udføres ved indblæsning af isolering i hulrummet i etageadskillelsen, hvilket vil reducere varmetabet igennem ydervæggen. Hulrummets størrelse er bestemmende for hvor meget isolering der kan indblæses.

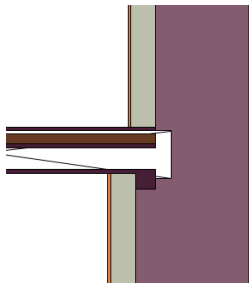
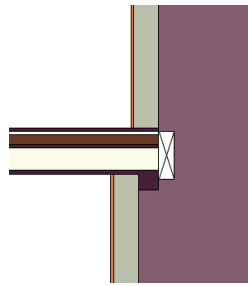
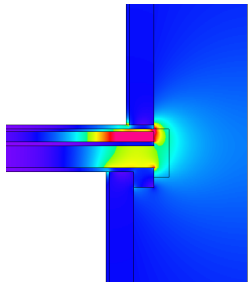
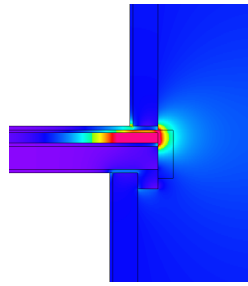
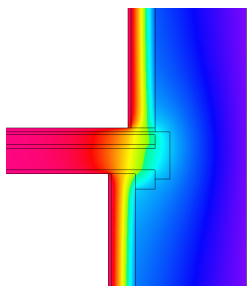
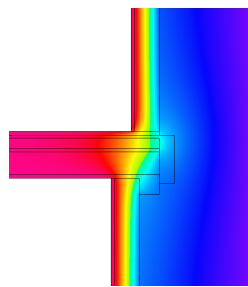
Hvis man fjerner lag for indskudsler, kan isoleringsmængden øges, men det kræver indbygning af en ny og tæt dampspærre. Da indskudsler isolerer effektivt mod brand og lyd, vil tiltaget også kræve en afklaring af lyd- og brandforhold.

Ved implementering af varmetabsreducerende tiltag i bygninger med træbjælkelag bør man altid være særlig opmærksom på om de evt. tiltag medfører øgede risici i forhold til fugt og kondens. Den indvendige isolering flytter dugpunktet ind i konstruktionen og kan dermed udgøre en risiko for bjælkelaget hvor de lægger af på murværket.

Læs mere om efterisolering af hulrum i etageadskillelser på Videncenter for energibesparelser:

<https://www.byggeriogenergi.dk/media/1763/efterisolering-af-etageadskillelse-ok.pdf>



	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Etageadskillelse med lerindskud i kombination med indvendig efterisolering.	Som reference med indblæst isolering i etagedæk.
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_k	0,17 W/mK	0,09 W/mK
Afledte effekter	Indvendig efterisolering kan efterlade en kuldebro i etageadskillelsen og samtidig flytte dugpunktet længere ind i konstruktionen og dermed eksponere eventuelle bjælkelag.	Efterisolering af etagedækket kan forbedre de lydæssige forhold og samtidig minimere kuldebroen i samlingen med ydervæggen. Man skal dog igen være opmærksom på øget risiko for at træbjælkelag udsættes for fugtrelaterede skader når dugpunktet flyttes ind i konstruktionen. Fugtekniske forhold må altid gå forud for energioptimeringer.

Tabel 22. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i altaner (type 1+2).

EKSEMPLER - RENOVERING

Altaner
Etageskillelse

Murkrone

Udmuring /fals (vindue)
Udmuring / fals (hjørnefals)
Skillevæg i uopvarmet kælder
Etageskillelse mod uopvarmet kælder
Skillevægsfundament

Murkrone

Etageboligbyggeri i 1960'erne og 1970'erne (type 5) er hovedsagelig opført som betonelementbyggeri med bærende tværvægge og betonsandwichelementer i ydervæggene. I nogle bygninger er kanten af taget udført med en forhøjet forstøbning som 'murkrone'. Dette sikrer at isoleringen i ydervæggen forbindes med isoleringen på taget og kuldebroen ved tagkanten minimeres. I andre bygninger består murkronen af et betonelement, som er boltret til betondækket (taget). Dette betyder at murkronen gennembryder isoleringen, hvor der er en betydelig kuldebro langs med tagkanten.

I sidstnævnte tilfælde bør det påboltede betonelement fjernes og en ny murkrone bør etableres, evt. med et mindre varmeledende materiale, f.eks. letklinker, gasbeton eller letbeton.

Ved introduktion af letklinker, gasbeton eller letbeton kræves en fastgørelse til dækelementet, i form af vinkelbeslag eller lignende. Et vinkelbeslag kan have varierende udformning, men vil typisk have et punkttab i størrelsesordenen 0,02-0,04 W/K, forudsat at den er placeret på den varme side af isoleringen.

For en ren gavlfacade med en højde på 22 m (7 etager) vil halvdelen af linjetabet fra murkronen på 0,83 W/mK alene bidrage til en forøgelse af gavlens U-værdien på 0,02 W/m²K. Derudover kommer korrektioner fra øvrige konstruktioner som eks. hjørnesamling.

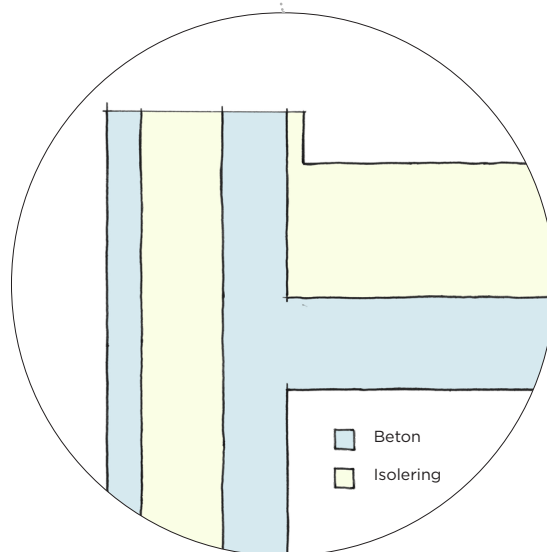
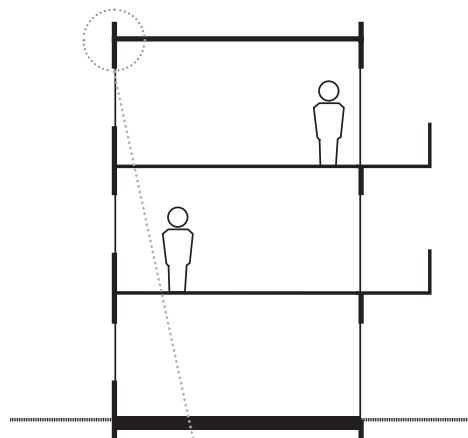
Iht. opmålingsreglerne i DS418 overlapper murkronen både ydervæg og tagkonstruktion, og linjetabet kan derfor fordeles ligeligt mellem de to konstruktioner.

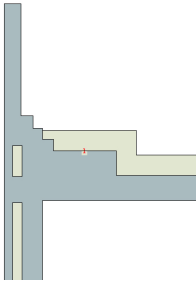
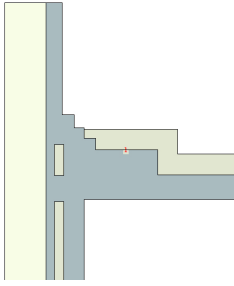
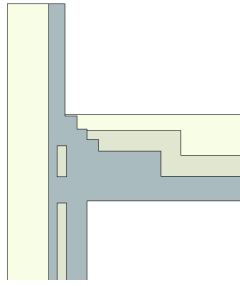
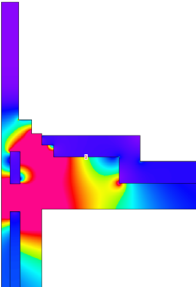
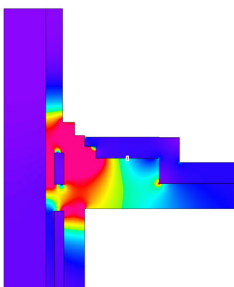
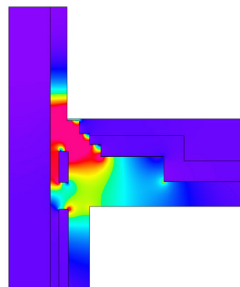
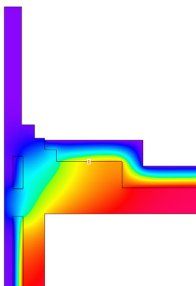
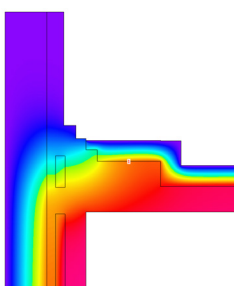
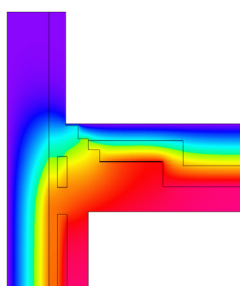
Særlige udfordringer

En renovering af murkronen går ofte hånd i hånd med efterisolering af tagkonstruktionen, og her er det vigtigt at sikre at der ikke er skader på den eksisterende tagbelægning som kan have opfugtet isoleringen. Fugtindholdet bør i så fald undersøges. Resultatet kan være opbygning af ny tagkonstruktion med ny dampspærre eller sikre en efterfølgende periode med fortsat udluftning af den eksisterende tagkonstruktion for udtørring af fugt.

Læs mere om anbefalinger og tjeklister for efterisolering af faldt tag på Videncenter for energibesparelser:

https://www.byggeriogenergi.dk/media/2227/efterisolering-af-fladt-tag_ok.pdf



	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Eksisterende konstruktion og isoleringsmængder.	Som reference med udvendig efterisolering af gavl/facade.	Som variation 1 med efterisolering af tagkonstruktion.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Punkttab, χ_k	1,25 W/mK	0,83 W/mK	0,61 W/mK
Afledte effekter	Den eksisterende konstruktion giver anledning til en markant kuldebro i samlingen mellem murkrone og sandwichelement.	Kuldebroen for den pågældende detalje minimeres betragteligt ved udvendig efterisolering.	Efterisolering af tagkonstruktionen har en begrænset effekt. For yderligere effekt skal betonskaffet erstattes eller isoleringen føres omkring.

Tabel 23. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i murkrone (type 5).

EKSEMPLER - RENOVERING

Altaner
Etageskillelse
Murkrone

Udmuring /fals (vindue)

Udmuring / fals (hjørnefals)
Skillevæg i uopvarmet kælder
Etageskillelse mod uopvarmet kælder
Skillevægsfundament

Udmuring / fals (vindue)

I det ældre etagebyggeri fra 1850-1920 (type 1 og 2), med massive ydervægge i tegl, er vinduer normalt udadgående og placeret langt fremme i facaden. Oprindelige vinduer har enkeltglas, hvor ydersiden af vinduet typisk er trykket $\frac{1}{4}$ sten (60 mm) tilbage fra facadeydern.

I nogle tilfælde er vinduer udskiftet til almindelige termoruder, men med uændret placering i facaden.

Hvis der efterisoleres udvendigt, bør vinduet flyttes med udad, da varmetabet reduceres når vinduet placeres i forlængelse af isoleringen (der opstår mindre knæk på isotermerne).

Hvis der efterisoleres indvendigt, vil varmetabet reduceres hvis vinduet rykkes ind mod den indvendige isolering. En øvelse som dog vil have arkitektonisk betydning.

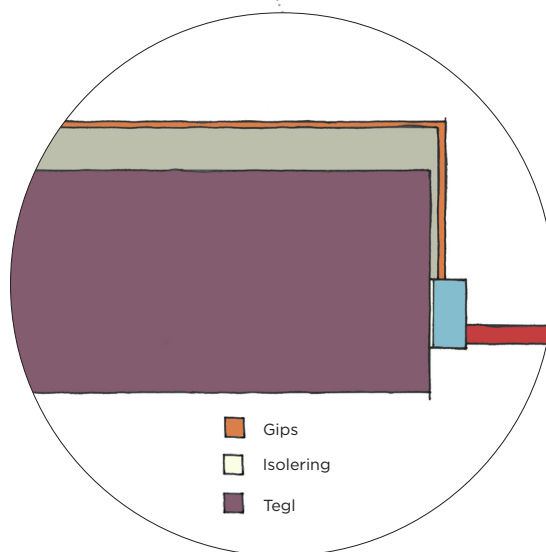
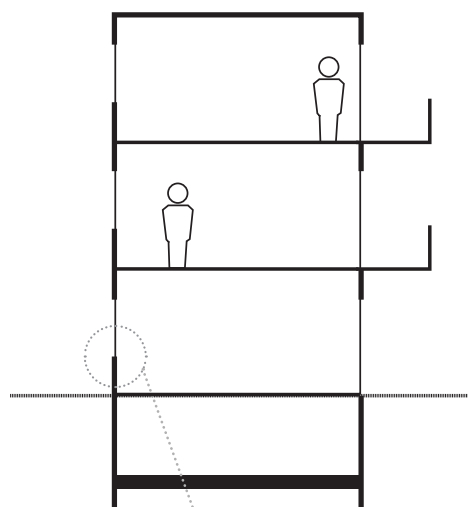
Særlige udfordringer

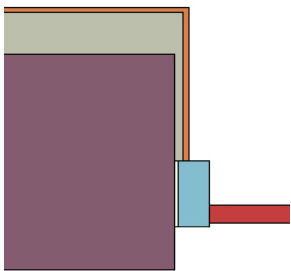
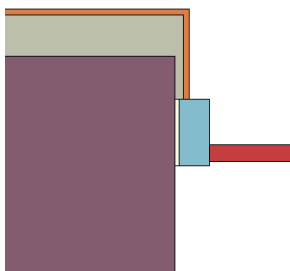
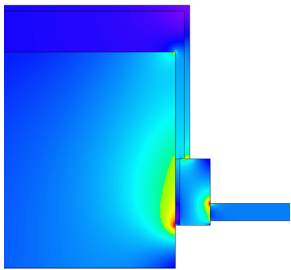
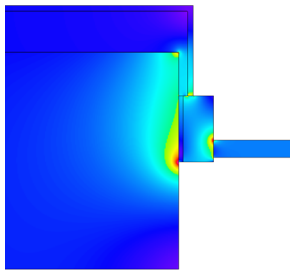
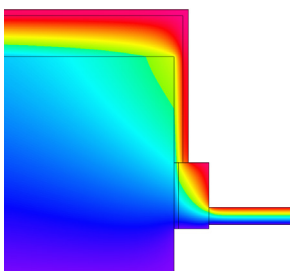
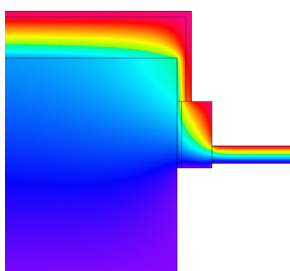
Selvom indrykning af vinduet ved indvendig efterisolering giver et mindre varmetab, vil dette sjældent være en god arkitektonisk løsning. Alternativt kunne man overveje implementering af separate forsatsvinduer,

Endvidere skal der rettes opmærksomhed på, at indvendig efterisolering generelt er fugtteknisk problematisk og at de fugtmæssige forhold oftest vil være bestemmende for vinduesfalsens løsning.

Læs mere om anbefalinger for indvendig efterisolering af tunge ydervægge på Videncenter for energibesparelser:

https://www.byggeriogenergi.dk/media/1621/indvendig-efterisolering-af-tung-yderv-g_ok.pdf



	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Normal placeringen af vindue.	Vinduet rykkes ind for at minimere kuldebroen i samlingen.
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_{SA}	0,21 W/mK	0,13 W/mK
Linjetab, Ψ_k	0,00 W/mK	0,00 W/mK
Afledte effekter	Ved indvendig efterisolering flyttes hele den isolerende del af konstruktion ind på bagsiden og giver anledning til store udsving i isolinierne ved normal placering af vindue.	Indrykningen giver primært anledning til minimering af samlings-tabet da der er tale om en mindre forskudt fals.

Tabel 24. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i udmuring/fals (type 1+2).

EKSEMPLER - RENOVERING

Altaner
Etageskillemur
Murkrone
Udmuring /fals (vindue)

Udmuring / fals (hjørnefals)

Skillevæg i uopvarmet kælder
Etageskillemur mod uopvarmet kælder
Skillevægsgulv

Udmuring / fals (hjørnefals)

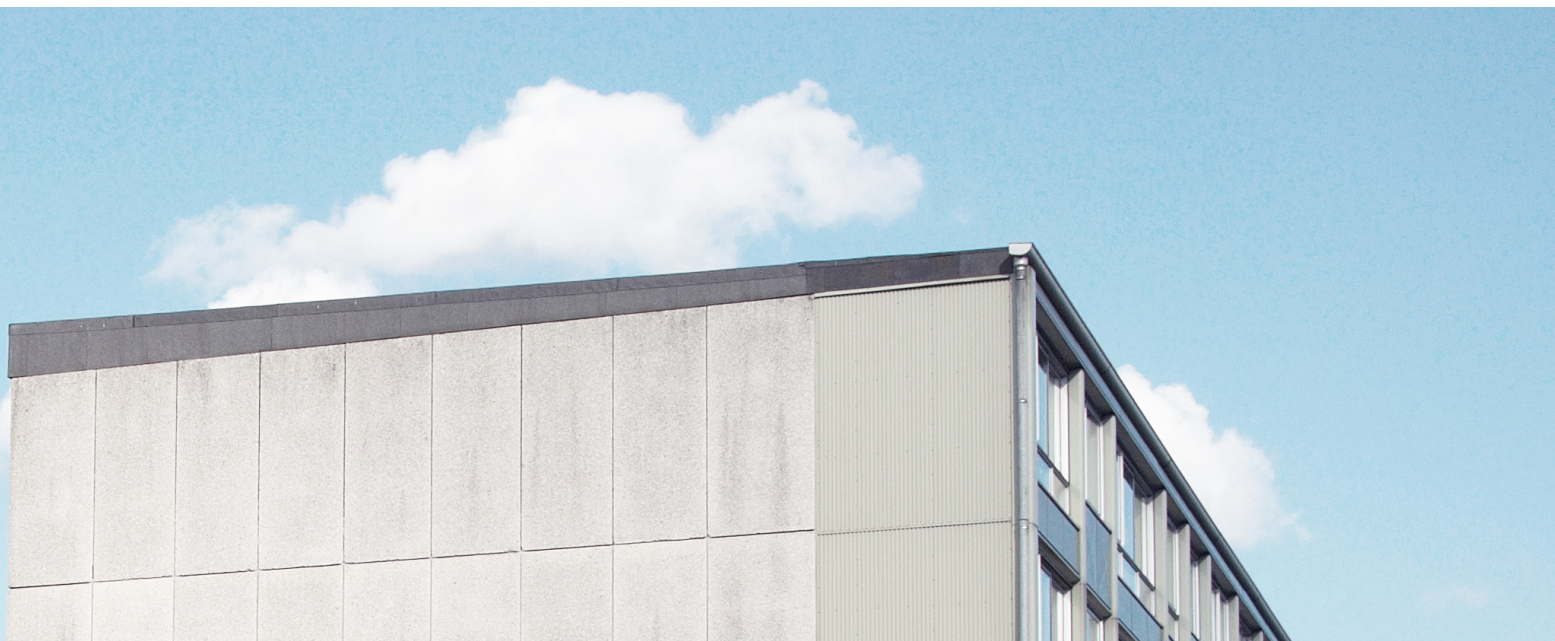
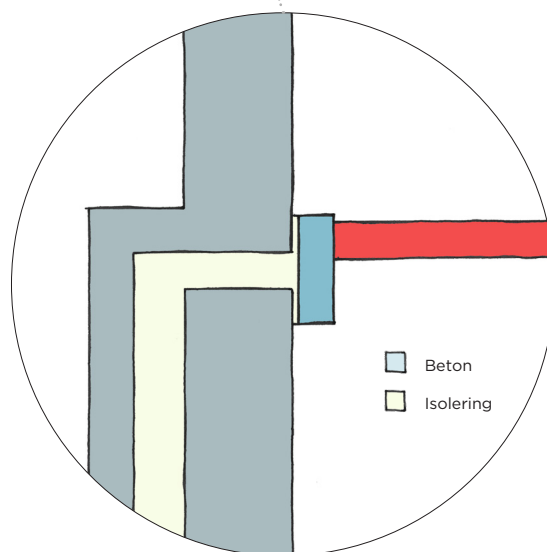
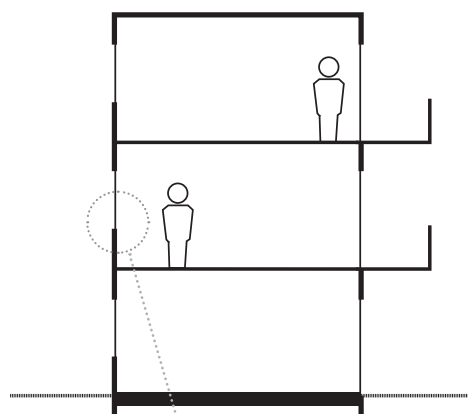
For etageejendomme udført i tiden efter 1960'erne er de langsgående ydervægge, herunder facaderne, ofte ikke bærende. Facaderne kan derfor være udført som både lette og tunge konstruktionsopbygninger, hvor gavlene vil være udført som bærende sandwichelementer. Ydervægge og sandwichelementer er udført med en moderat isoleringsmængde hvor konstruktive samlinger generelt i nogle tilfælde udført med et fokus på håndtering af kuldebroer.

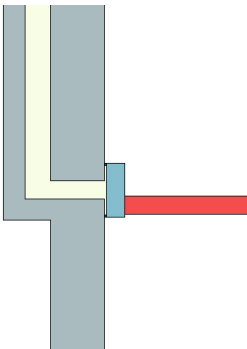
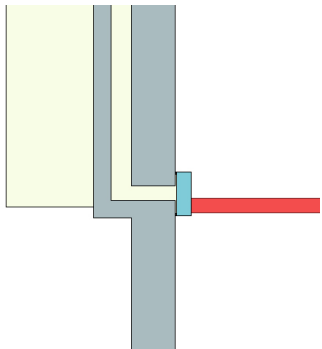
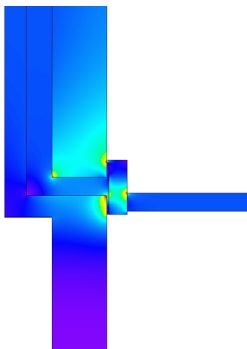
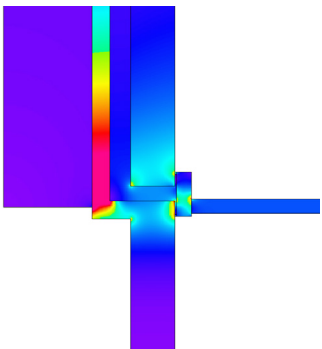
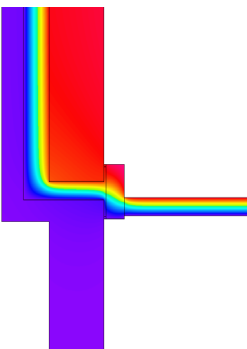
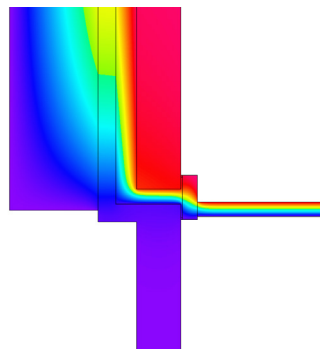
Byggeriet i denne periode er kendetegnet ved indeliggende altaner hvor de tværgående skillevægge bryder de isolerede facadepartier og vinduesfacader. Afhængig af det overordnede konstruktionsprincip kan gennembrydningen være afbrudt af en isoleringsstrimmel for minimering af kuldebroen. Det samme gør sig gældende ved hjørnesamlingerne hvor facaden møder gavlen. Her ses fine gode eksempler på at isoleringen føres ubrudt med rundt fra gavlen til facaden. For etageejendomme af denne type er efterisolering af gavlen et oplagt tiltag ved renovering, hvilket pludselig efterlader hjørnesamlingen med en stor kuldebro, idet forpladen på det eksisterende facadeelement vil trække kulden ind bag den nye facadeisolering.

For en ren gavlfacade uden vinduer med en bredde på 14 m vil et linjetab i hvert hjørnesamling på 0,12 W/mK alene give anledning til en forøgelse af U-værdien på 0,02 W/m²K. Derudover kommer korrektioner fra øvrige konstruktioner som eks. murkrone mv.

Særlige udfordringer

Ved konstruktionsopbygninger hvor hele facader består af indeliggende altaner med tværgående skillevægge, kan det være vanskeligt helt at eliminere kuldebroerne uden at gennem meget bekostelige konstruktive indgreb. Det vil typisk ikke være rentabelt at gennemføre disse indgreb og man vil derfor normalt acceptere kuldebroen. Ved dokumentation af U-værdier og eftervisning af rentabilitet skal man være opmærksom på at inkludere de tilhørende kuldebroer i en korrigeret U-værdi.



	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Detaljen dækker over både fals og hjørnesamling før efterisolering.	Efterisolering af gavl.
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_{SA}	0,02 W/mK	0,02 W/mK
Linjetab, Ψ_k	-0,09 W/mK	0,12 W/mK
Afledte effekter	Grundet overlappende arealer ved hjørnesamlingen opnås et negativt konstruktivt linjetab.	Den udvendige efterisolering af gavlen skaber en ikke ubetydelig kuldebro i hjørnesamlingen med en forskel på 0,21 W/mK fra før.

Tabel 25. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i hjørnefals (type 5).

EKSEMPLER - RENOVERING

Altaner
Etageskillelse
Murkrone
Udmuring /fals (vindue)
Udmuring / fals (hjørnefals)

Skillevæg i uopvarmet kælder

Etageskillelse mod uopvarmet kælder
Skillevægsfundament

Skillevæg i uopvarmet kælder

I etageboligbyggeri fra 1960'erne og 1970'erne (type 5) er de bærende kældervægge typisk støbt på stedet, hvor oversiden understøtter dækket over kælder og stueetagens bagvæg står oven på dækket.

Ved en uopvarmet kælder vil de eksisterende skillevægge udgøre væsentlige kuldebroer, hvor efterisolering af etagedækket vil kunne reducere varmetabet. Dette kan gøres enten på over- eller undersiden af dækket.

Særlige udfordringer

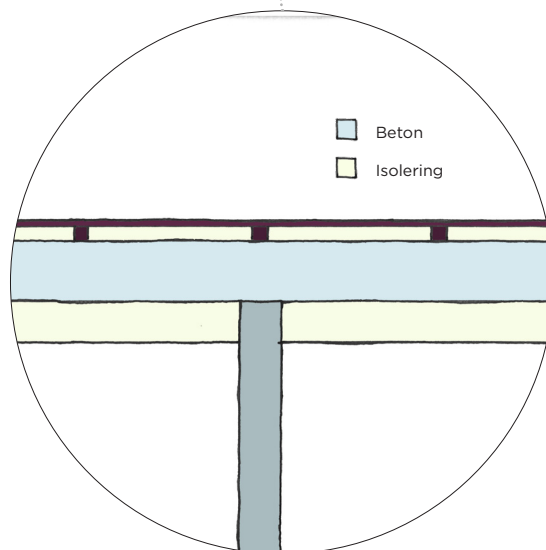
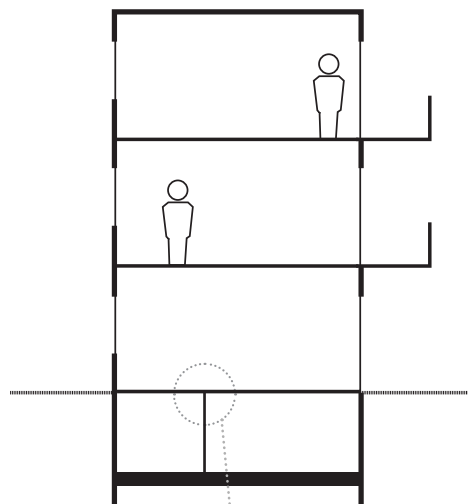
Isolering på oversiden af dækket vil i praksis forde, at trægulve tages op, og kan samtidig skabe en uheldsmæssig konstruktionsopbygning i relation til fugt da man risikere at flytte dugpunktet over betondækket. Isolering på undersiden kan være nemmere at udføre, men der kan være udfordringer med kælderens loftshøjde og hensyntagen til installationer der evt. er ført under loftet i kælderen.

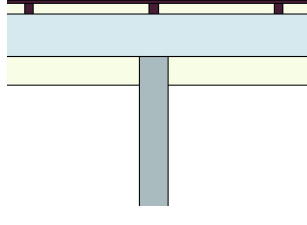
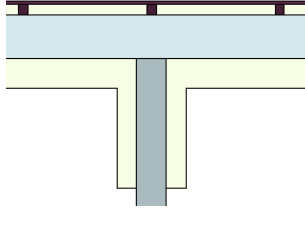
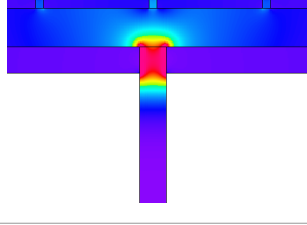
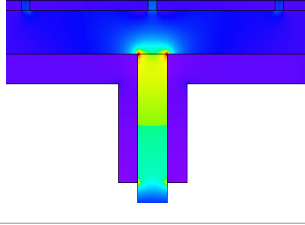
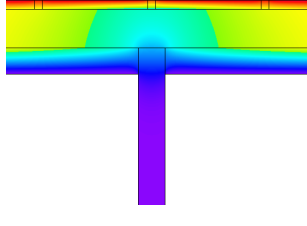
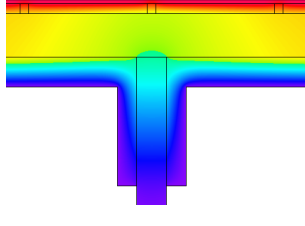
Efterisolering af dækket vil medføre at temperaturen i den uopvarmede kælder falder og resultere i en højere relativ luftfugtighed. Derfor bør der også ses på tiltag, som kan reducere fugttilførslen. Man bør endvidere være opmærksom på at kuldebroen hvor skillevæggen gennembyder isoleringen, ikke giver anledning til en kritisk overfladetemperatur på oversiden af betonelementet. Risikoen afhænger af temperaturforhold, materialer på oversiden og fugtbelastning i det enkelte tilfælde.

Udfordringer med (efter)isolering af etagedæk mod uopvarmet kælder kan i praksis relateres til de fleste eksisterende bygningstyper såvel som nybyg.

Læs mere om anbefalinger for efterisolering af etageadskillelser mod uopvarmet kælder på Videncenter for energibesparelser:

[https://www.byggeriogenergi.dk/media/1661/efterisolering-af-gulv-over-uopvarmet-klder-ok.pdf](https://www.byggeriogenergi.dk/media/1661/efterisolering-af-gulv-over-uopvarmet-kelder-ok.pdf)



	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Isolering under betondæk mellem bærende skillevægge.	Som reference med isolering ned langs skillevægge.
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_k	0,34 W/mK	0,20 W/mK
Afledte effekter	Foruden linjetabet ved gennembrydningen, skal man være opmærksom på om kuldebroen kan give risiko for kondens på oversiden af betondækket.	Ved at isolere ned langs skillevæggen minimeres linjetabet og risikoen for problemstillinger vedr. fugt. Der kan dog være udførelsesmæssige problemstillinger relateret til denne løsning.

Tabel 26. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i skillevæg i uopvarmet kælder (type 5).

EKSEMPLER - RENOVERING

Altaner
Etageadskillelse
Murkrone
Udmuring /fals (vindue)
Udmuring / fals (hjørnefals)
Skillevæg i uopvarmet kælder

Etageadskillelse mod uopvarmet kælder

Skillevægsfundament

Etageadskillelse mod uopvarmet kælder

De fleste etageejendomme fra perioden 1850-1920 (type 1 og type 2) er opført med ydervægge i massivt murværk og etageadskillelser med træbjælkelag. Kælderydervægge er normalt murede i 3-3 ½ stens tykkelse, hvor kældergulve i de ældste ejendomme har været lerstampede. Hvis kælderen har været tiltænkt til beboelse, kan der have forekommet trægulv på strøer over det lerstampede gulv, som på et senere tidspunkt typisk er blevet til et udstøbt betongulv.

For at reducere varmetabet til kælderen, kan man vælge at enten isolere kælderen eller at isolere etageadskillelsen over kælderen. Sidstnævnte kan reducere varmetabet væsentligt, hvis kælderen er meget kold. I nogle tilfælde bidrager varmetab fra installationer til opvarmning af kælderen, hvorfor disse må forbedres samtidig med ovenstående tiltag.

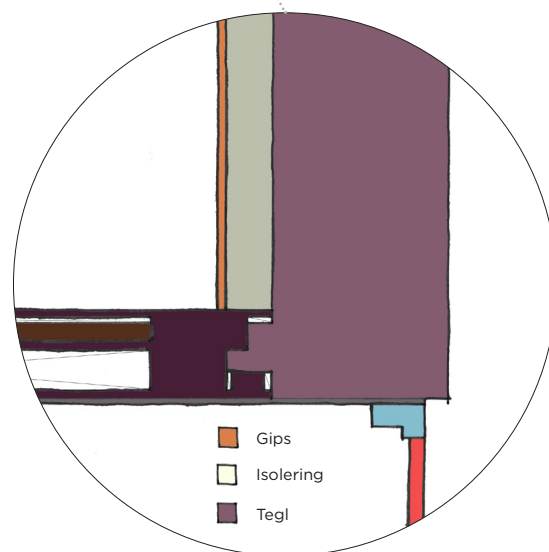
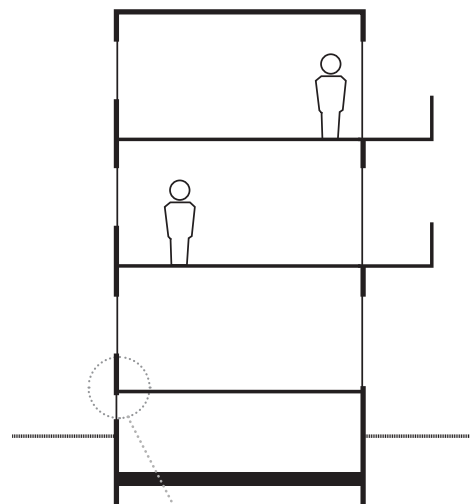
Isolering af etageadskillelsen kan udføres enten ved indblæsning af isolering i hulrummet mellem indskudsbrædder og forskalling, eller på undersiden af kælderloftet. Undersiden af kælderloft kan kun efterisoleres, hvis ikke det giver konflikter med kælders loftshøjde eller føring af installationer under kælderloftet.

For eksemplet til højre vil der opstå 3 forskellige temperaturer da den uopvarmede kælder i praksis må antages at have en højere temperatur end ude. Af DS/INF 418-1 afsnit 4.6 frem går et beregningseksempel på håndtering af kuldebroer for konstruktioner med mere end 2 forskellige temperaturer ved numerisk beregning. En forsimplet tilgang hvor kælderen antages at have samme temperatur som ude vil være på den sikre side. Afvigelsen mellem de to metoder afhænger af temperaturforskellen men vil for nærværende eksempler give en sikkerhed på 10-15 %.

Særlige udfordringer

Efterisolering af etageadskillelsen medfører, at temperaturen i kælderen falder og giver anledning til en højere relativ luftfugtighed. Afhængig af de eksisterende varme- og fugtforhold, kan denne ændring betyde, at rum, der tidligere fremstod tørre, fremover kan få et uhenigtsmæssigt højt fugtindhold. Hvis der forefindes organiske materialer i de uopvarmede rum, kan dette være problematisk. Risikoen kan nedbringes, hvis der samtidig med efterisoleringen udføres tiltag, der reducerer fugttilførslen.

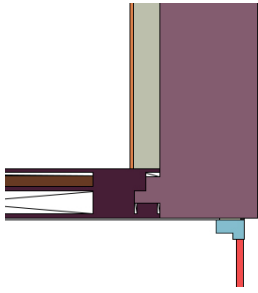
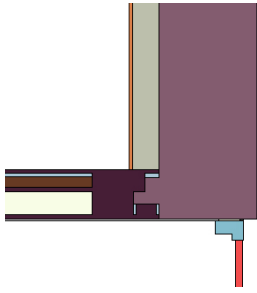
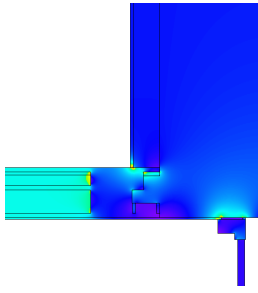
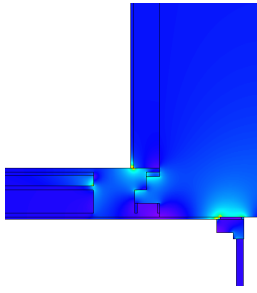
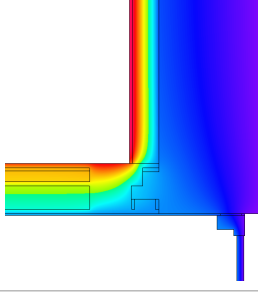
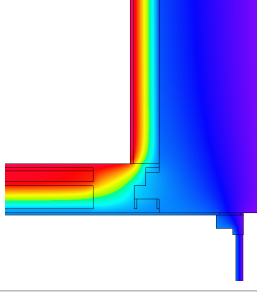
Læs mere om anbefalinger for efterisolering af etagead-



skillelser mod uopvarmet kælder på Videncenter for energibesparelser:

[https://www.byggeriogenergi.dk/media/1661/efterisolering-af-gulv-over-uopvarmet-klder-ok.pdf](https://www.byggeriogenergi.dk/media/1661/efterisolering-af-gulv-over-uopvarmet-kelder-ok.pdf)



	Reference	Variation 1
Beskrivelse	Indvendig efterisolering af murværk.	Som reference og indblæsning af isolering i bjælkelag.
Detalje		
Varmestrømning		
Temperatur		
Linjetab, Ψ_k	- 0,538 W/mK	- 0,110 W/mK
Afledte effekter	Grundet indvendig isolering skabes et stort positivt bidrag som følge af opmålingsreglerne for de enkelte bygningsdele jf. DS418.	Det samlede varmetab bliver mindre, men det positive bidrag fra samlingen reduceres som følge af efterisoleringen som gør "kuldebroen" ved bjælken mere udtalt.

Tabel 27. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i etageadskillelse mod uopvarmet kælder (type 1+2).

EKSEMPLER - RENOVERING

Altaner
Etageskillemur
Murkrone
Udmuring /fals (vindue)
Udmuring / fals (hjørnefals)
Skillevæg i uopvarmet kælder
Etageskillemur mod uopvarmet kælder

Skillevæggsfundament

Skillevæggsfundament (lille/stor)

I etageboligbyggeri i 1960'erne og 1970'erne (type 5) vil bagvæggen ved terrændæk normalt være understøttet direkte på fundamentet, hvor betonpladen er udstøbt på stedet mellem fundamenterne. Der kan forekomme trykfast isolering under betonpladen, men sjældent mere end 75 mm og ofte mindre.

Ved efterisolering af et terrændæk i et etagebyggeri med gennemgående skillevægge pr. 3,6 m fås følgende korrigerede U-værdier hhv. for det lille og store skillevæggsfundament:

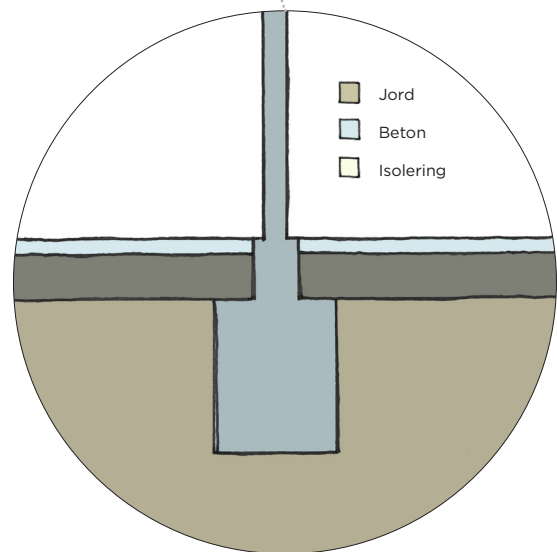
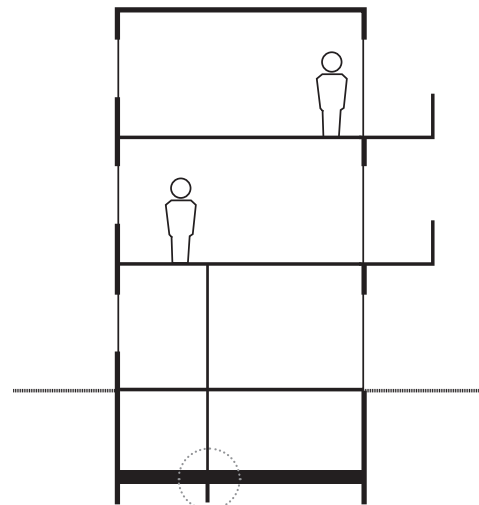
Isolerings-tykkelse	U-værdi (éndimensional)	Lille skillevæggsfundament	Stort skillevæggsfundament
		U-værdi (korrigeret)	U-værdi (korrigeret)
300 mm	0,11 W/m ² K	0,24 W/m ² K	0,33 W/m ² K
600 mm	0,06 W/m ² K	0,22 W/m ² K	0,30 W/m ² K

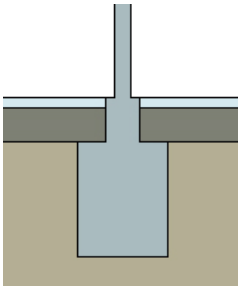
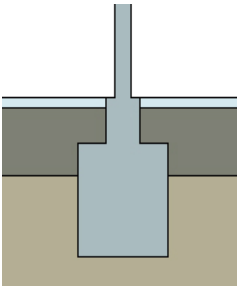
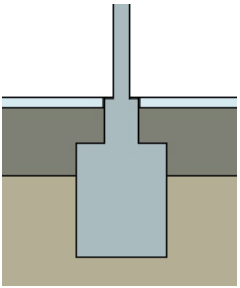
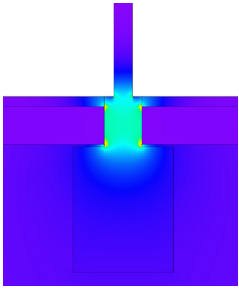
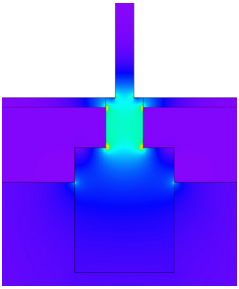
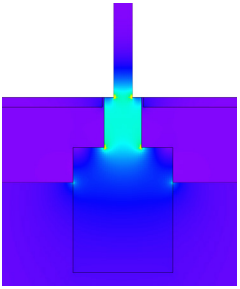
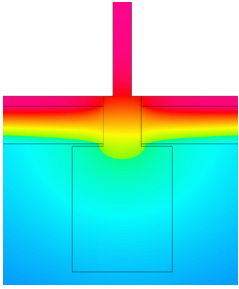
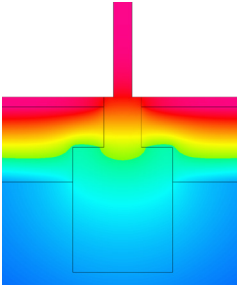
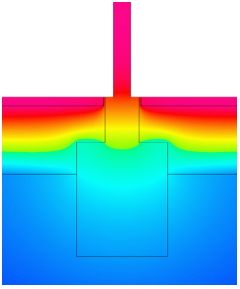
Særlige udfordringer

Ved efterisolering af terrændæk henviser litteraturen og Erfa blade ofte til anbefalede isoleringsmængder der kun lige opfylder bygningsreglementets skærpede krav ved en endimensional betragtning af isoleringslagets tykkelse. For renovering gælder det dog som ved nybyg, at de primære konstruktioners U-værdier skal korrigeres for tilhørende kuldebroer.

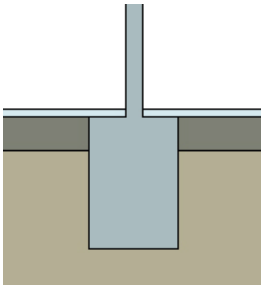
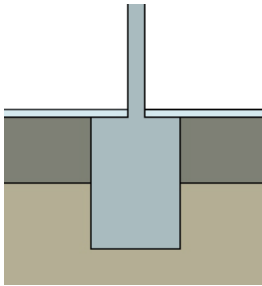
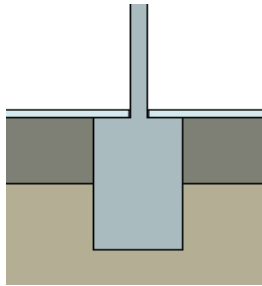
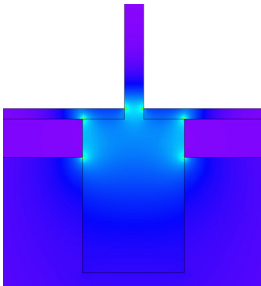
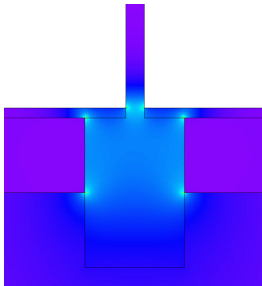
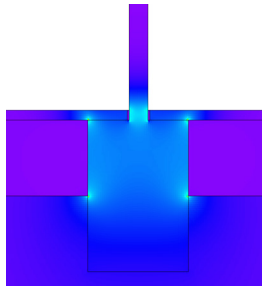
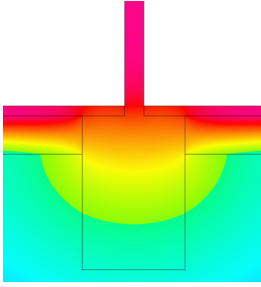
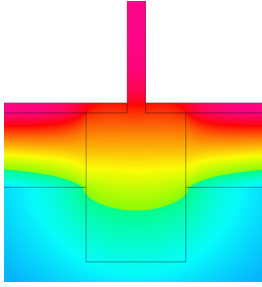
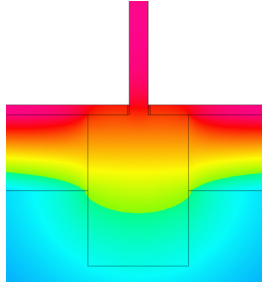
Den korrigerede U-værdi er relevant både i forhold til bygningsreglementets minimumskrav, men i særdeleshed også i forhold til forventede energibesparelser (rentabilitet).

For eksisterende etageboliger vil de bærende konstruktioner være både vanskelige og bekostelige at ændre for minimering af kuldebroernes betydning. De følgende eksempler på eksisterende skillevæggsfundamenter ved efterisolering af terrændæk, giver anledning til så store linjetab, at de selv i et begrænset omfang vil have så stor indflydelse på den korrigerede U-værdi for terrændækket, at minimumskravet i bygningsreglementet sjældent kan overholdes uanset isoleringsmængden.



	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Moderat efterisolering af terrændæk (-300 mm).	Markant efterisolering af terrændækket (-600 mm).	Som variation 1 med 20 mm kantisolering langs skillevæg.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Punkttab, χ_k	0,52 W/mK	0,59 W/mK	0,55 W/mK
Afledte effekter	Kuldebroen giver anledning til en relativ høj linjetabskoefficient.	Kuldebroen forøges en smule grundet øget bredde på fundamentet dybere i jorden. Isoleringsstykkelse har lille betydning.	Kantisoleringen har en meget lille betydning for linjetabet.

Tabel 28. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i skillevægsgfundament (lille) (type 5).

	Reference	Variation 1	Variation 2
Beskrivelse	Moderat efterisolering af terrændæk (-300 mm).	Markant efterisolering af terrændækket (-600 mm).	Som variation 1 med 20 mm kantisolering langs skillevæg.
Detalje			
Varmestrømning			
Temperatur			
Punkttab, χ_k	0,83 W/mK	0,86 W/mK	0,85 W/mK
Afledte effekter	Kuldebroen giver anledning til en relativ høj linjetabskoefficient.	Kuldebroen forøges en smule grundet øget bredde på fundamentet dybere i jorden. Isoleringstykkelse har lille betydning.	Kantisoleringen har en meget lille betydning for linjetabet.

Tabel 29. Resultater fra analyser vedr. kuldebro i skillevægsgfundament (stor) (type 5).

9. Processen

Transmissionstab i bygninger består af flade-, linje- og punkttab, hvilke rent konstruktivt ofte er knudepunkter for adskillige fagligheder, hvor der igennem hele projektforsløbet har været mange forskellige faglige aftryk på den lille, men ikke ubetydelige detalje.

Varmetabet fra kuldebroerne har ofte en "reel berettigelse", da de typisk skabes af konstruktive hensyn, som kan være vanskelige at undgå, når der samtidig er fokus på bygbarhed og økonomi. Selv inden for ingeniørfaget mangler der konsensus omkring håndteringen af kuldebroer; konstruktionsingeniøren har fokus på det konstruktive og bærende system, hvor energiingeniøren skal sikre overholdelse af energikrav, herunder undgåelse af kuldebroer.



Typisk opleves det at der ikke er mulighed for at indregne kuldebroer til et myndighedsprojekt, idet vi får detaljerne så sent – samarbejdsprocessen bør debatteres.

Deltager ved workshop

Kuldebroens endelige udformning og design vil derfor være stærkt influeret af andre fagligheder end netop energiingeniørens. Det betyder at både arkitekt, konstruktionsingeniør, bygningskonstruktør samt entreprenør også har stor indflydelse på i hvilket omfang kuldebroer kommer til at påvirke en bygnings varmetab.

Kuldebroer er i høj grad et tværfagligt dilemma, som fordrer tværfaglig koordinering og opsyn igennem hele byggeriets proces. Tværfaglig vidensdeling er nøgleord når håndteringen af kuldebroer i byggeriets praksis skal diskuteres og debatteres, da det er fælles ansvar for bygherren, rådgiverne og de udførende.



Samspillet mellem arkitekt og ingeniør fungerer ikke, da det skal gå så stærkt!!

Deltager ved workshop

Ydelsesbeskrivelsen for Byggeri og Landskab 2018 (YBL18) anvendes som grundlag for rådgivning i forbindelse med byggeri og planlægning, hvilken er udformet med henblik på at definere roller, ansvar, ydelser samt ydelsesfordeling. Ydelsesbeskrivelsen skriver ikke noget eksplicit omkring håndteringen af kuldebroer, men mere overordnet om hvem der har ansvar for hvilke ydelser, i hvilke faser. I det følgende uddybes dette yderligere og kædes konkret sammen med myndighedskrav.

Følgende afsnit vil se nærmere på den procesmæssige og tværfaglige håndtering af kuldebroer med afsæt i YBL18.



Besværlig dokumentationsproces!! Det er tydeligt at der mangler retningslinjer og der mangler værktøjer.

Deltager ved workshop

I **dispositionsforslagsfasen** skal rådgiveren udarbejde en overslagsberegning af bygningens energibehov i henhold til bygningsreglementets krav. Det betyder at, der skal foreligge et overslag på følgende, hvori kuldebroerne indgår:

- Linjetab
- U-værdier
- Be18-beregning (nybyggeri)
- Dim. transmissionstab (nybyggeri)
- Energikrav (renovering)

I **myndighedsprojektet** udarbejdes ansøgning om byggetilladelse samt samling af nødvendigt grundlag herfor, herunder dokumentation for overholdelse af bygningsreglementets krav i forhold til energibehov.



I **projektforslagsfasen** er rådgiveren forpligtiget til at opdatere overslagsberegningen af bygningens energibehov i henhold til Bygningsreglementets krav.

Det betyder at, hvis tegningsmaterialet ændres, således at det har indflydelse på bygningens energibehov, skal alle linjetab, U-værdier samt energikrav tilrettes, som følge heraf.

Udbudsprojektet skal danne grundlag for udbud, kontrahering, udarbejdelse af udførelsesprojekt samt udførelse, hvorfor rådgiveren skal udarbejde detaljeret tegningsmateriale samt levere oplysninger fra eget ansvarsområde, herunder bygningens energibehov.

Figur 21. Oversigt over YBL18.

Udførelsesprojektet udføres af rådgiveren eller af entreprenører som fastlagt i udbudsprojektet.

I udførelsesprojektet har ingeniøren (VVS-installationer og ventilation) ansvar for opdatering af dokumentation for overholdelse af bygningsreglementets krav til energibehov. Endvidere skal rådgiveren granske eventuel projektdokumentation udarbejdet af leverandører, producenter eller entreprenører med henblik på at konstatere, om projektet lever op til udbudsmaterialets krav og intentioner.

Energimærkning af bygninger er lovpligtigt at udføre og det er bygherres ansvar at dette bliver udført. Der er krav om energimærkning ved:

- Salg eller leje
- Nybyggeri
- Offentlige bygninger over 250 m²

Energimærkningen skal udføres af en uafhængig energikonsulent, som sikre at der er overensstemmelse mellem beregning og færdigt byggeri. Herunder også dokumentation af linjetab og U-værdier.

Udførelses-
projekt

Udførelse

Energi-
mærkning

Stikprøve-
kontrol

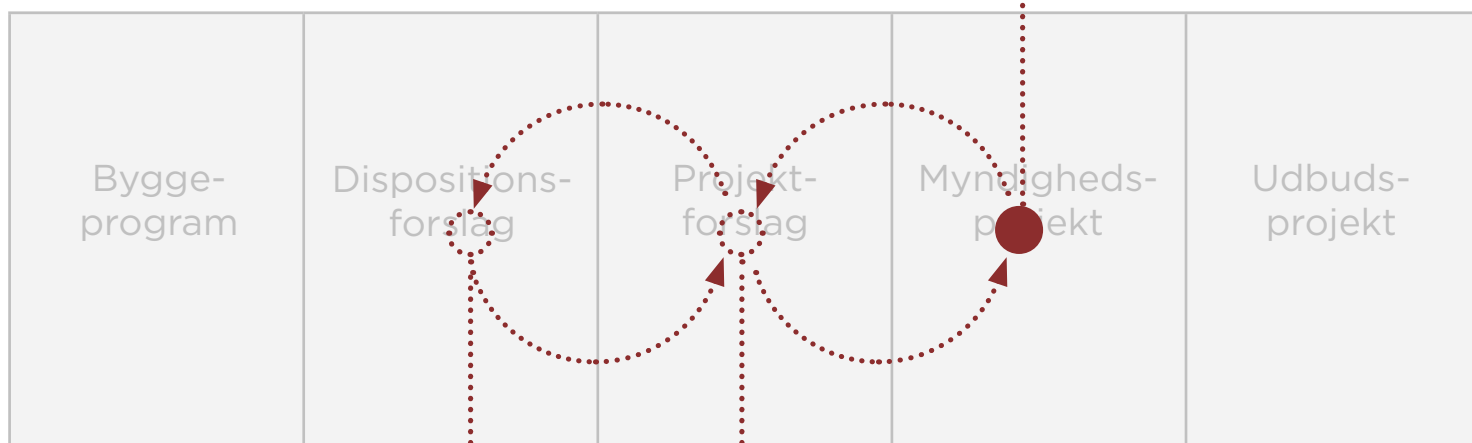
I **udførelsesfasen** igangsættes byggeriet. Ved evt. projektopfølgning sikres at udførelsen, herunder evt. supplerende projektering udført af entreprenører, følger projektets intentioner.

Kommunerne skal i 10 % af sagerne foretage en **stikprøvekontrol** af dokumentationen for, at byggeriet overholder kravene i BR18.

Skønnede U-værdier og forældede erfaringstal

I henhold til ydelsesbeskrivelsen skal dokumentation for kuldebroer udføres i myndighedsprojekt. Én af udfordringerne ved dette er, at på dette tidspunkt er detaljeringsniveauet af projektmaterialer ikke højt nok for at kunne fastsætte de præcise U-værdier og linjetab for alle primære bygningsdele. Derfor er det et delvist skøn, baseret på erfaringstal samt evt. indregnede usikkerheder for kommende revisioner.

Således er både energirammeberegningen og det dimensionerede transmissionstab baseret på skønnede linjetab og U-værdier. Hvis der er omfattende revisioner i hovedprojekt, som har stor indflydelse på de skønnede U-værdier, kan dette skabe problemer i forhold til at overholde myndighedskrav, både i forhold til mindstekrav og det dimensionerende transmissionstab.



De skønnede U-værdier baseres på erfaringstal, hvor projektet i høj grad er afhængig af de pågældende rådgiveres egne portofolier samt evner til at skønne evt. kommende leverandørers systemkomponenter.

Før 2008 var der ikke samme høje krav til isoleringstykkelse, transmissionstab og energi performance, som der er til nutidens byggeri. Det var derfor almindelig praksis med et tillæg på 10-20 % til den ukorrigerede U-værdi, for at indregne kuldebroernes betydning for varmetabet.

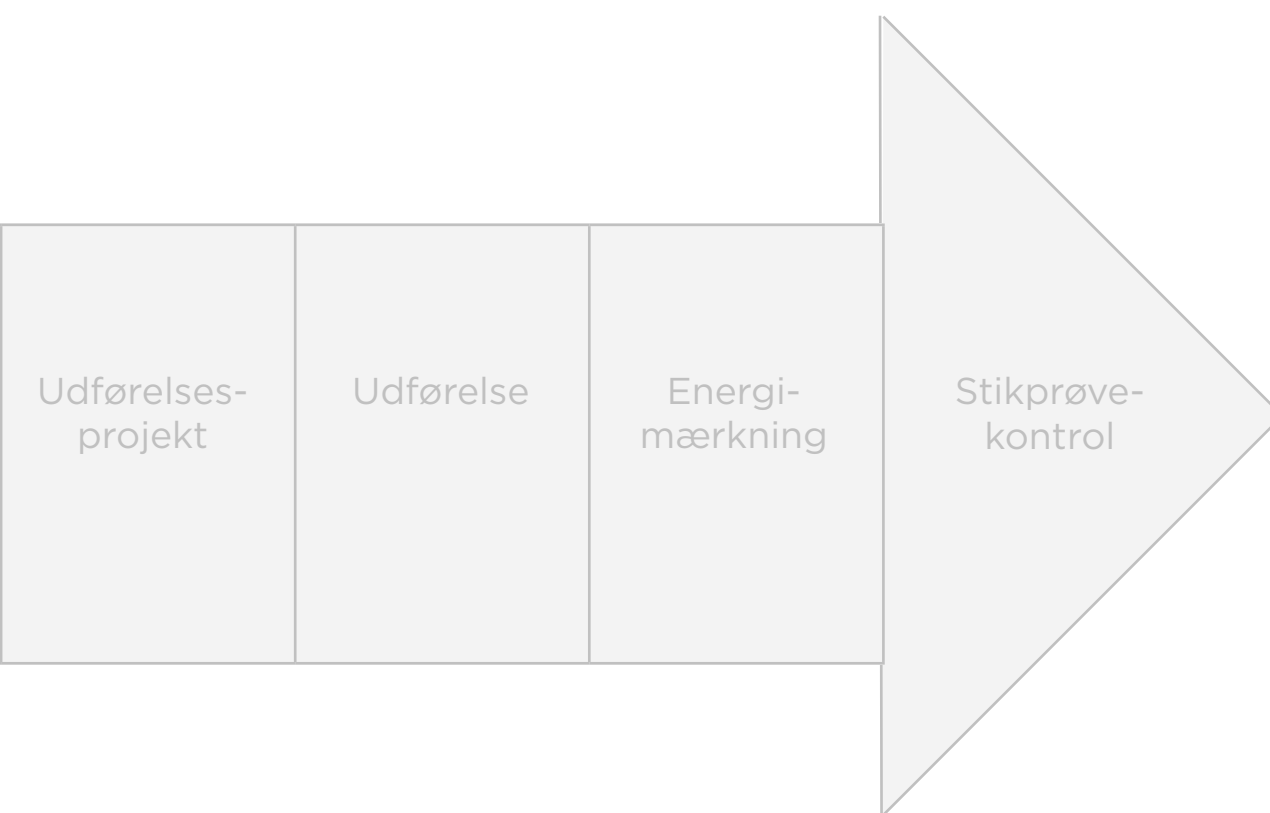
Efter en længere periode med skærpede energikrav, er denne praksis ikke længere gyldig – nye beregninger viser at den ukorrigerede U-værdi bør forøges med op til 100 % (!).

Figur 22. Beskrivelse af udfordringer vedr. bestemmelse af U-værdier i relation til byggeriets faser (YBL18).



Hvem skal dokumentere U-værdien: arkitekt, ingeniør eller leverandør? Og hvem har ansvaret for at udbedre energirammen, hvis der findes fejl? Energikonsulenten, rådgiveren eller entreprenøren?

Deltager ved workshop



Nutidens byggepraksis, er relativt kompleks, både i forhold til nybyggeri og renovering, hvor de primære bygningsdele indeholder mange forskellige lag. Dette sammenholdt med de implicite myndighedskrav, gør at det kan være svært at gennemskue hvordan og hvorledes man hurtigt og nemt kan håndtere kuldebroer og linjetab i praksis.

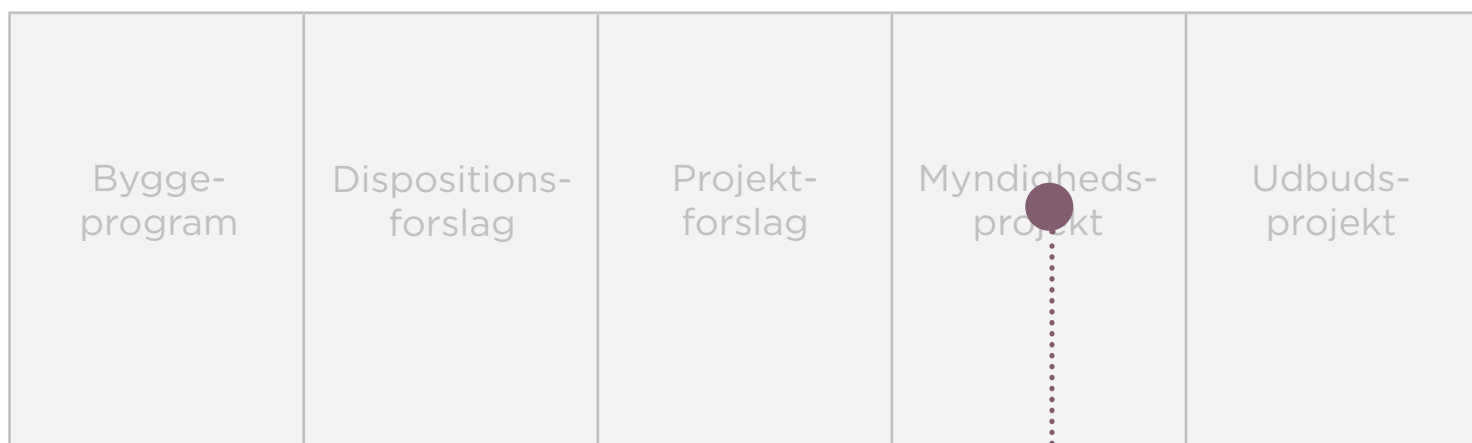
Linjetab for samlinger og fundament er llidt nemmere at tilgå, da de som oftest kan slås op i tabeller og man skal udfylde værdier i et særskilt skema i Be18. Begge dele bevirker overskuelighed og at linjetabene bliver italesat og synlige.

Der er større udfordringer med dokumentationen af U-værdier, som i mange tilfælde kan være for optimistiske og muligvis ikke overholder kravene i bygningsreglementet. Årsagen kan være manglende viden om korrekt håndtering eller manglende incitament til at igangsættelse af den relativt besværlige og bekostelige dokumentationsproces.

Manglende konsensus omkring dokumentation

Det fremgår ikke entydigt af bygningsreglementet hvordan dokumentation af kuldebroer bør foreligge og med hvilket detaljeringsniveau.

Bygningsreglementet henviser til DS418 for videre retningslinjer om hvordan kuldebroer bør håndteres, men det er langt fra altid at denne praksis bliver fulgt korrekt. Ikke mindst da dokumentationsprocessen kan blive både omfattende, omkostningsfuld og sjældent kan opvejes af den evt. resulterende varmebesparelse i det endelige byggeri. Derfor er der heller ikke konsensus i byggeriets praksis om forventningerne til samarbejdet ved dokumentationsprocessen af kuldebroer og det lader til at være plads til fortolkning af hvordan bygningsreglementets krav håndhæves - eller rent af omgås? Udfordringen er, at jo mere omhyggelig dokumentation, jo større varmetab - incitamentet er der ikke! Der er ikke entydige krav til hvordan U-værdierne skal dokumenteres.



Dokumentation 1

I ansøgningen om byggetilladelse afleveres Be18 til myndighederne, hvor U-værdier for primære bygningsdele er fastlagt. Dvs. i denne beregning skal kuldebroerne være fastlagt samt linjetab ved fundament og samlinger omkring vinduer/døre.

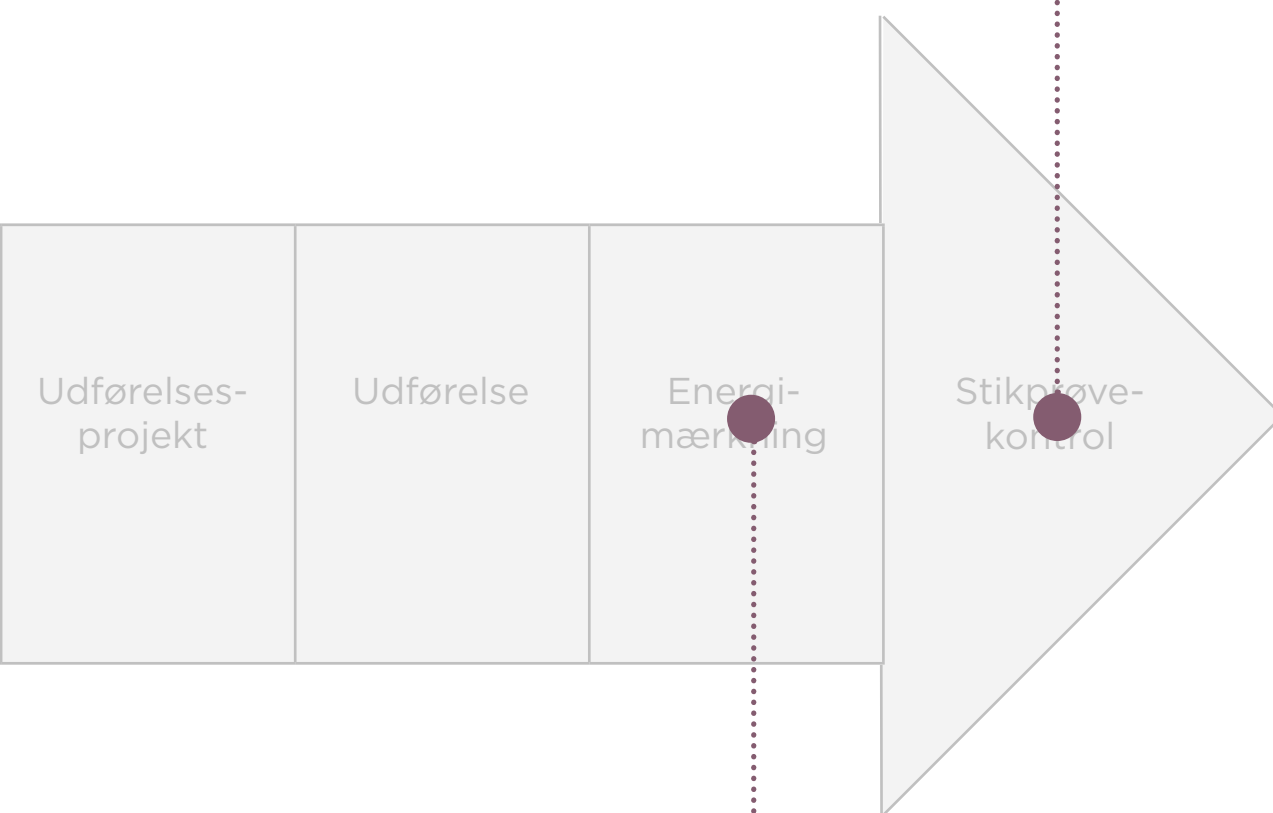
Men da ikke alle detaljer er kendt på dette tidspunkt, er det heller ikke muligt at præcist bestemme kuldebroerne. Det er heller ikke entydigt hvordan dokumentation for valgte U-værdier skal afleveres og kan variere fra kommune til kommune og fra sagsbehandler til sagsbehandler.

Det er heller ikke entydigt hvem af rådgiverne der i sidste ende har ansvar for U-værdien, da det på den ene side er ingeniøren som regner på varmeisoleringssevne og den anden side, arkitekten som har ansvar for facadedesign.

Figur 23. Beskrivelse af udfordringer i forbindelse med dokumentation kuldebroer i byggeriets faser (YBL18).

Dokumentation 3

Ved myndighedernes 10%-kontrol kan projektet udtages til en stikprøvekontrol. Der er ikke klare retningslinjer for på hvilket niveau dokumentationen forventes, ej heller hvilke konkrete konsekvenser et afføder, hvis der er uoverensstemmelse mellem beregning og opført byggeri.



Dokumentation 2

Ved energimærkning modtager energikon-sulentent projektets BeI8-beregning inkl. dokumentation af U-værdier med henblik på om projektet overholder lovkrav. Det kan være vanskeligt at kvalitetssikre dokumentationen, da der ikke er entydige retningslinjer for forventet omfang samt niveau.

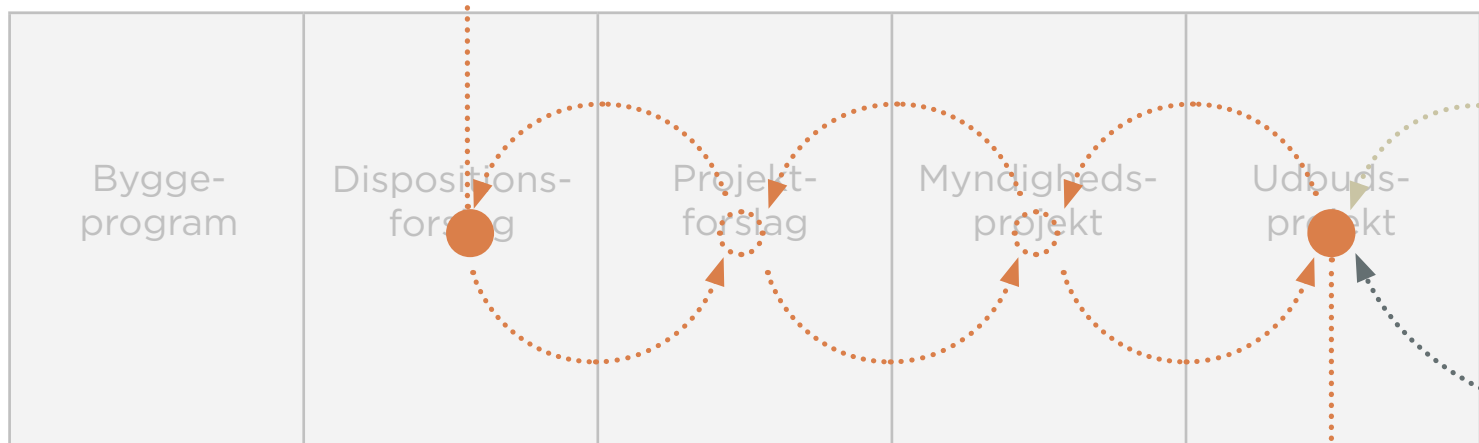
Mangel på tværfaglig koordinering

I skitsefasen er arkitekten pennefører og laver studier i rumlighed, volumener, udtryk, funktionalitet, kontekst og materialevalg, ofte i sparring med bygningskonstruktøren.

I dispositionsforslagsfasen konkretiseres skitserne, hvor konstruktionsingeniøren medvirker til beslutningstagende omkring hovedsystem for de konstruktive bærende og stabiliserende principper.

Energiingeniøren kan også være involveret i de tidlige faser, men kun på et overordnet niveau da det endnu ikke er kendt hvordan detaljerne kommer til at se ud.

Hvis energiingeniøren ikke involveres i de tidlige faser, vil det være primært arkitekten, bygningskonstruktøren samt konstruktionsingeniøren, som har hænderne på kuldebroerne i de indledende faser er, hvor antallet af frihedsgrader er størst og omkostninger mindst.



I udbudsprojektet færdigprojekteres projektet inkl. alle detaljetegninger, ofte af en bygningskonstruktør på den pågældende tegnestue.

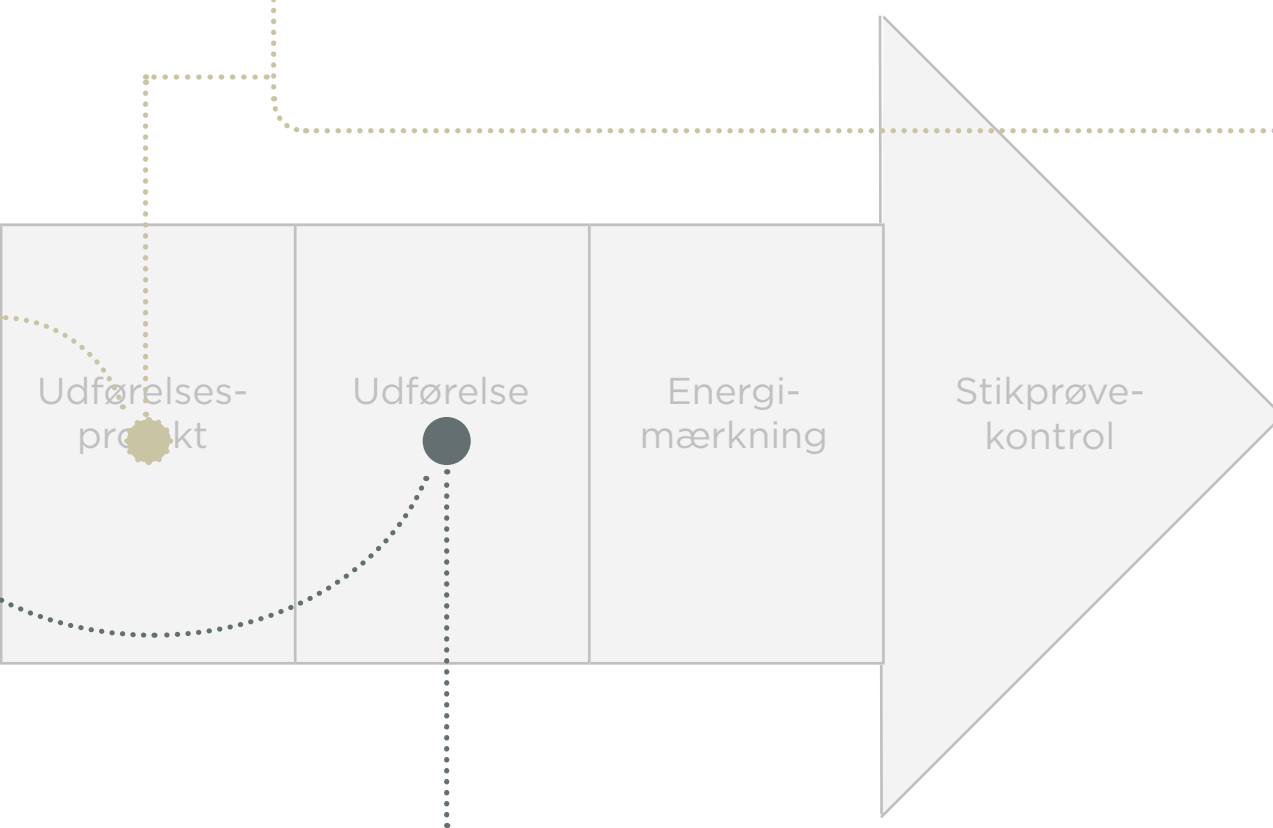
I denne fase sker mange revisioner, hvorfor de korrigerede linjetab, U-værdier samt dimensionerende transmissionstab følgelig skal opdateres – nogle gange med ubehagelige overraskelser til følge.

I denne fase kan det blive, ikke kun meget dyrt at rette op på fejl, men også besværligt, da antallet af bygbare og realiserbare løsninger er indsnævres.

Figur 24. Beskrivelse af øvrige udfordringer i forbindelse med håndteringen af kuldebroer (YBL18).

Funktionsudbud og systemleverancer

Det er ofte rådgiveren, der udformer grundlaget for facadeentreprenørens arbejde, hvor der kan mangle tilstrækkelig og præcis angivelse af krav til linjetab. Den ansvarlige rådgiver har ikke altid tilstrækkelig viden om leverandørens typiske løsninger, så der kan indregnes realistiske værdier for kuldebroer og linjetab. Det er heller ikke entydigt om hvornår leverandøren bør oplyse de faktiske værdier for kuldebroer og linjetab til rådgiveren, hvilket indsnævrer mulighederne for at tilpasse det øvrige projekt hertil, hvis det er påkrævet. Dette medfører ofte mange revisioner af energirammeberegningen. Derudover er der særlige udfordringer ved grænseflader mellem flere funktionsudbud, herunder hvem der er ansvarlig for hvad, fx altaner der skal forankres til en facade.



Manglende fokus på tolerancer og bygbarhed

I projekteringsfasen tages ikke altid tilstrækkelig højde for tolerancer, herunder både udførelsetolerancer og variationer af eksisterende bygningsdele i renoveringsopgaver. Det har stor indflydelse på bygbarheden og hvilke isoleringstykker, der i praksis vil kunne indbygges.

Derudover har rækkefølgen af arbejdsgange under udførelsen også indflydelse på *hvornår* isoleringen vil kunne indbygges. Nogle isoleringstyper er eksempelvis følsomme overfor fugt, hvorfor de først kan indbygges, når der ikke er risiko for fugtpåvirkning.

Anbefalet proces og arbejdsgang

Da projekter ofte er individuelle med en unik og varierende sammensætning, kan der være forskellige tilgange til projekterings- og udførelsesprocessen, også med hensyn til kontraktform og udbudstype. Det kan derfor være vanskeligt at lave generaliserede anbefalinger, som vil kunne implementeres i alle projekttypen, hvorfor det følgende afsnit skal ses med forbehold i forhold til ovenstående.

Faserne i det følgende afsnit er baseret på YBL 2018.

Indledende overvejelser

I den indledende fase, er det vigtigt at få klarlagt hvilke overordnede energikrav, der gælder for bygningen da det kan have betydning for hvor skærpet et fokus der bør være og hvor tidligt i faserne man bør gå detaljeret til værks.

Derudover er det vigtigt at have fokus på projektets af-talegrundlag og hvordan dette adresserer ansvar for levering af dokumentation samt hvornår, herunder også systemleverancer. Hvis ansvar og rollefordeling er entydig fra starten opnås en langt bedre og smidig proces. Som eksempel kan nævnes:

- Ansvar for bestemmelse af endimensionelle U-værdier
- Ansvar for dokumentation ved udbud af systemleverancer eller modulbyggeri
- Ansvar for bestemmelse af samlingslinjetab
- Ansvar for bestemmelse af tab fra konstruktive kuldebroer
- Ansvar for bestemmelse af korrigerede U-værdier

I tillæg til energimæssige betragtninger, er det mindst lige så vigtigt at sikre fordeling af ansvaret for at der udføres fugtteknisk forsvarlige løsninger. Herunder korrekt placering af dampspærre, dugpunktsberegning og eventuelle numeriske beregninger af kritisk overfladetemperaturer ved kuldebroer.

Ovenstående kan om nødvendigt aftales for de enkelte bygningsdele - særligt såfremt der er tale om systemleverancer der kan give anledning til varierende ansvarsforhold.

Byggeprogram - udspecificering af krav

Bygningsreglementet stiller krav til dokumentation af bygningers varmetab (jf. DS418), men detaljeringsgraden af dokumentationen kan være meget varierende, og bygherre/-rådgiver kan derfor med fordel specificere og konkretisere omfanget af dokumentation.

Dispositionsforslag - indledende beregninger

I dispositionsforslagsfasen anbefales det at oprette et arbejdsdokument til løbende ajourføring og dokumentation af linjetab og U-værdier med tilhørende kuldebroer,

som detaljeres løbende igennem de senere projektfaser.

Detaljeringsgraden i projektet er ofte relativt lav og revisioner af bygningsgeometrien forekommer jævnligt i denne fase. Derfor kan det være vanskeligt at identificere omfang og variation af kuldebroer på bygningsdelsniveau. De overordnede konstruktionsprincipper og isoleringstykkelser bør være fastlagt og man kan med fordel bearbejde energirammen med afsæt i estimerede U-værdier for de primære bygningsdele, korrigeret for kuldebroer.

Generelt gælder det dog at en alt for konservativ tilgang kan give anledning til unødige og uhensigtsmæssige dispositioner som kan have både anlægsøkonomiske og arkitektoniske konsekvenser. Omvendt vil en alt for lemfældig tilgang give anledning til et større varmetab end beregnet og endnu større økonomiske konsekvenser hvis der rettes fokus mod problemstillingerne for sent i processen. Det kræver derfor en vis erfaring med kuldebroernes betydning og omfang, for at kunne yde den rette rådgivning på det rigtige tidspunkt.

U-værdier

Nedenstående tabel angiver anbefalede korrektioner i forhold til de primære konstruktioners en-dimensionale U-værdier. Korrektionerne er baseret på erfarings-tal, hvorfor der bør tages forbehold for variation i klimaskærmens kompleksitet.

Bygningsdel	Korrektion
Terrændæk	+ 40-80 %
Ydervægge	+ 40-60 %
Tagkonstruktioner	+ 10-20 %
Etageadskillelser mod det fri	+ 50-70 %

Tabel 30. Anbefalede korrektioner.

Korrektioner vil i realiteten have en større spredning end de angivne variationer, men er et udtryk for et forventet spænd for en stor andel. Der vil derfor forekomme tilfælde, hvor korrektionen kan være både større eller mindre.

Linjetab

Med mindre andet kan dokumenteres, bør det gennemsnitlige linjetab for fundamenter ikke fastsættes lavere end bygningsreglementets minimumskrav på 0,40 W/mK. Dette gælder særligt for tungt etagebyggeri, hvor minimumskravet ofte kan blive udfordret af hensyn til konstruktive forudsætninger. Samlingstabet mellem vinduer/døre og ydervægge afhænger af falsens opbygning samt vinduets placering i væggen. Hvis ikke andet er kendt, bør tabet ikke antages at være lavere end bygningsreglementets minimumskrav. Alternativt kan der tages udgangspunkt i tabelopslag eller erfaringstal, til-lagt en usikkerhed på 25 %.

Indledende beregninger

- Oprettelse af arbejdsdokument
- Fastlæggelse af konstruktionsprincipper samt isoleringstykker
- Korrigerede U-værdier til Be18
- Tværfaglig granskning & KS energikrav

Identificering & kategorisering

- Viderebearbejdning af korrigerede U-værdier & estimerede linjetab
- Kortlægning af konkrete længder til opmåling
- Opdeling af kuldebroer ift. konstruktionsprincip
- Kategorisering af de mest udfordrende kuldebroer og valg af estimeringsmetode hertil
- Tværfaglig sparring for at anslå foreløbige detaljeløsninger
- KS energikrav
- Arbejdsdokument ajourføres

Udspecificering af krav

Udspecificering af krav til kuldebroer af bygherre/ -rådgiver.



Indledende overvejelser

- Hvilke overordnede energikrav?
- Ansvar & rollefordeling?

Viderebearbejdning

- Identificering af de mest udfordrende detaljeløsninger, som kræver stor tværfaglig opmærksomhed i næste fase
- Muligvis numeriske beregninger
- KS energikrav
- Samle dokumentation (arbejdsdokumentet)

Figur 25. Oversigt over anbefalet proces og arbejdsgang (YBL18).

Endelige detaljeløsninger

- Tværfaglig dialog & beslutningsmøder omkring endelige detaljeløsninger
- Numeriske beregninger af de mest kritiske kuldebroer
- Kravstilling til dokumentation af U-værdier ift. systemleverancer
- Arbejdsdokument ajourføres
- KS energikrav

Energimærkning

Arbejdsdokument ajourføres og afleveres til energikonsulent.

Udbuds-
projekt

Udførelses-
projekt

Udførelse

Energi-
mærkning

Stikprøve-
kontrol

Tværfaglig granskning

- Aktiv inddragelse af producenter, leverandører, entreprenører mv.
- Krydstjek i arbejdsdokument detaljeløsninger med særligt udfordrende kuldebroer
- Arbejdsdokument ajourføres
- KS energikrav

Giver de estimerede U-værdier anledning til store afvigelser i forhold til transmissionstabskravet eller er der tale om et projekt med fokus på lavenergi eller en passiv designstrategi, kan man med fordel kvalificere kuldebroerne yderligere allerede i dispositionsforslaget. Se beskrivelse for tilgang under projektforslag. Man skal dog være opmærksom på at detaljeringsgraden på det stade kan gemme på kuldebroer, som først bliver synliggjort i de senere faser.

Der anbefales en tværfaglig granskning af projektmateriale - herunder arkitektur, statik, brand, energi - for tidligt at kunne kortlægge og identificere de mest udfordrende kuldebroer - både ift. kompleksitet og omfang. Endvidere drøftes evt. begrænsninger ift. valg af kommende detaljeløsninger. Hvis de korrigerede U-værdier og estimerede linjetab indikerer at lovkrav ikke overholdes, skal der rettes fokus mod løsninger som sikrer dette, i takt med den videre detaljering af projektet.

Arbejdsdokumentet ajourføres med henblik på identificering af de mest udfordrende kuldebroer samt overlap med andre fagdiscipliner, som skal tværfagligt krydstjekkes løbende igennem processen.

Projektforslag - identificering & kategorisering

I projektforslagsfasen viderebearbejdes de korrigerede U-værdier og estimerede linjetab. For de primære konstruktioner identificeres og kortlægges de tilhørende kuldebroer, i det omfang detaljeringsgraden af projektet tillader det. Eksempelvis kan de konkrete længder på murkroner, skillevægsgundamenter, etageadskillelser og vinduesfals samt antal altanophæng mv. kortlægges. Hvis konstruktionsprincipperne for de primære bygningsdele varierer skal kuldebroerne opdeles tilsvarende. Der anbefales en kategorisering af de mest udfordrende kuldebroer, i forhold til hvilken metode, som ønskes benyttet til estimering af kuldebroernes varmetab i den videre proces:

- Simple beregninger +20 %
- Tabelopslag +20 %
- Erfaringstal +20 %
- Numeriske beregninger + 5 %

Erfaringstal fra beregninger af varmetab fra kuldebroer, tilsvarende de foreløbige projektspecifikke detaljer, anvendes ofte i kombination med tabelopslag i denne fase. Der vil dog ofte være nogle konstruktive forskelle, som giver anledning til en usikkerhed, hvorfor de enkelte kuldebroer derfor bør tillægges en usikkerhed på min 20 %.

Der anbefales tværfaglige sparringsmøder for at anslå foreløbige detaljeløsninger, hensyntagen til andre fagdiscipliner (arkitektur, statik, brand), og som input til ovenstående estimeringsmetoder. Ved forventede systemleverancer bør dialogen med potentielle leverandører igangsættes, hvor informationen kan indgå i analyserne.

Hvis de foreløbige beregninger indikerer at lovkrav ikke overholdes, bør muligheder for alternative og forbedrede detaljeløsninger drøftes ved tværfaglig dialog eller koordineringsmøder.

Arbejdsindsatsen i forhold til den videre detaljering, bør til enhver tid vurderes ud fra risikoen for betydende projektændringer og den relative betydning af den enkelte kuldebro.

Arbejdsdokumentet ajourføres iht. ovenstående.

Myndighedsprojekt - viderebearbejdning

Til myndighedsprojektet samles den foreløbige dokumentation vedr. kuldebroernes varmetab, herunder dokumentation af korrigerede U-værdier, linjetab og vedlægges som bilag til dokumentationen for energirammeberegning og overholdelse af transmissionstab.

Arbejdsdokumentet kan danne grundlag for dokumentation af korrigerede U-værdier samt estimerede linjetab. Det bør også indeholde en afgrænsning i forhold til hvilke, af de mest udfordrende, detaljeløsninger, der kræver særlig stor og tværfaglig opmærksomhed i den næste fase. Er der særligt udfordrende løsninger kan det være nødvendigt at udføre detaljerede numeriske beregninger i denne fase.

Udbudsprojekt - endelige detaljeløsninger

I denne fase anbefales tværfaglige dialoger eller beslutningsmøder for at vedtage de endelige detaljeløsninger, hensyntagen til andre fagdiscipliner (arkitektur, statik, brand) samt udførelse og bygbarhed.

Det vil ofte være i denne fase der udføres detaljerede og numeriske beregninger af de mest kritiske og betydende kuldebroer, som er estimeret i de forudgående faser. Anvendes tabelopslag og forsimplede tilgange til fastlæggelse af kuldebroer og linjetab bør de tilhørende usikkerheder medregnes jf. tabel 30.

Nødvendig information og kravsspecifikationer som ligger til grund for de forudsatte U-værdier skal indarbejdes i udbudsmaterialet. Det kunne være specifikke krav til isoleringsværdier og mængder eller resulterende U-værdier for samlede systemleverancer. For systemleverancer som trækassetter, sandwichelementer og Curtain Walls bør der stilles krav til dokumentationen af U-værdier for repræsentative elementer. Systemleverancen kan dog kun være ansvarlig for den del som leveres. Dvs. indgår eksempelvis altaner eller lignende, som leveres og monteres af særskilt leverandør/entreprenør, skal bidraget for denne korrigeres ind i U-værdien for systemleverancen.

Arbejdsdokument for dokumentation af U-værdier og linjetab ajourføres iht. ovenstående.

Udførelsesprojektet - tværfaglig granskning

Fasen følger i grove træk udbudsprojektet med den forskel at leverandører, entreprenører mv. er inddraget aktivt i processen.

I denne fase anbefales tværfaglig granskning af eventuel projektdokumentation udarbejdet af leverandører, pro-

ducenter, entreprenører, for at sikre at projektet lever op til udbudsmaterialets krav og intentioner. Ved hjælp af arbejdsdokumentet krydstjekkes detaljeløsninger som vedrører særligt udfordrende kuldebroer.

Er der tale om totalentrepriser eller tidligt udbud bør man naturligvis inddrage entreprenøren og leverandører tidligere.

Energimærkning

I forbindelse med energimærkningen af en given bygning skal der udføres en As-built beregning baseret på det udførte arbejde. Dvs. der skal indsamles den nød-

vendige dokumentation, som underbygger de udførte beregninger. Er der sket ændringer i udførelsen, tilrettes beregningerne og arbejdsdokumentet ajourføres.

Arbejdsdokumentet vedlægges som bilag til dokumentation for U-værdier og linjetab til energikonsulenten.

Tjekliste for typiske kuldebroer

Af nedenstående tabel opsummeres de mest hyppige kuldebroer for de enkelte bygningsdele. Listen er ikke udtømmende, men giver en indikation af de mest hyppige kuldebroer.

Ydervæg	Kommentar
Vinduesfals	Betydningen afhænger af konstruktionsprincip, men vil ofte have en betydning for den korrigerede U-værdi
Etageadskillelse	Afhænger meget af det konstruktive princip. Har primært betydning for konstruktionsprincipper, hvor dækelementer rager ud i ydervægskonstruktionen eller hvor vinduer går til gulv.
Murkrone (50 %)	Murkronen kan bidrage både positivt og negativt til den korrigerede U-værdi afhængig af materialevalg og udformning.
Altaner	For etageboliger med altaner for hver lejlighed vil det generelt have stor betydning for den korrigerede U-værdi.
Hjørnesamlinger	Hjørnesamlinger regnes typisk aldrig med. Udadgående hjørner vil ofte resultere i et positivt bidrag til den korrigerede U-værdi, hvor det modsatte er tilfældet for indadgående.
Ribber	Ribber er ofte en systemleverance (sandwich element) og indgår som en betydende parameter i den korrigerede U-værdi beregning.
Terrændæk	
Skillevægsgfundamenter	Kan have markant betydning for terrændækkets U-værdi.
Punktfundamenter	Afhænger meget af projektet, men har sjældent afgørende betydning for terrændækket.
Elevatorgrube	Betydningen afhænger meget geometrien.
Tagkonstruktioner	
Fals (ovenlys)	Afhænger af omfanget af ovenlys.
Murkroner (50 %)	Murkronen kan bidrage både positivt og negativt til den korrigerede U-værdi afhængig af materialevalg og udformning.
Øvrige gennembrydninger	Gennembrydning ventilation, elevatorårn mv.
Etageadskillelser mod det fri	
Skillevægge	Linjetabskoefficienten kan være stor og dermed også give anledning til store korrektioner afhængig af omfanget
Søjler	Tværsnit og detalje ved gennembrydning har betydning for punkttabet.
Bjælker	Langsgående bjælker under dæk eller i randen kan i kombination med søjler give store korrektioner til etageadskillelsens U-værdi

Figur 26. Tjekliste for typiske kuldebroer.

10. Sammenfatning & perspektivering

Resultatet af nærværende udviklingsprojekt er en publikation, som sætter fokus på kuldebroernes betydning, kompleksitet og ikke mindst udfordringerne i processen og det tværfaglige samarbejde.

Hensigten med publikationen er, at give byggeriets praksis et kvalitativt udgangspunkt for håndteringen af kuldebroer og belyse vigtigheden af at arkitektur, energi og bygbarhed følges ad - igennem hele processen.

Projektets problemstillinger og udfordringer i forbindelse med den praktiske håndtering af kuldebroer, er blevet diskuteret med branchen via to workshops i Aarhus henholdsvis i København. Deltagerne ved de to workshops var bredt repræsenteret fra materiale- og facadeproducenter til bygherrer, entreprenører og rådgivere. Deltagerne bekræftede projektgruppens erfaringer og hypoteser, og der blev identificeret generelle og udbredte problemstillinger vedrørende håndteringen af kuldebroer i byggeriets praksis.

Deltagerne efterlyste blandt andet et større fokus på samarbejdsprocessen, da der er behov for at håndteringen af kuldebroer ikke kun orienterer sig mod det byggetekniske, men også adresserer de procesmæssige udfordringer. F.eks. at dokumentation af kuldebroer skal ske på et tidspunkt, hvor den endelige detaljeløsning endnu ikke kendes. Dette sammen med den relativt besværlige dokumentationsproces, demonstrerede et behov for tydeligere retningslinjer og værktøjer med relation til byggeriets faser.

Beregninger og analyser, som er udført og inddraget i projektet, viser en klar tendens til at kuldebroerne har stor indflydelse på de primære konstruktioners korrigerede U-værdier og dermed også bygningers samlede transmissionstab. Når man sammenligner de enkelte konstruktionstyper, er det vigtigt at have for øje hvordan man har skildret den generelle konstruktionsbygning henholdsvis kuldebroer.

For sandwichelementer (med betonfals og ribber) og lette konstruktioner (tyndpladeprofiler) betyder det at, der typisk vil fremstå en større andel af kuldebroer end eksempelvis konstruktioner med træ. Træ er generelt et relativt varmeisolerende materiale i sig selv og derfor også mere tilgivende, når det kommer til betydningen af gennembrydninger, inhomogene lag, linjetabskoefficienter for ydervæggsfundamenter mv. Man vil derfor også opleve at kuldebroerne ikke har samme indflydelse for byggerier i trækonstruktioner, som for de andre konstruktionstyper. Trækonstruktioner kræver dog en større opmærksomhed på tæthed, placering af damspærre og byggefugt.

Tabelopslag og forsimplede beregninger kan give anledning til betydelige afvigelser fra det faktiske transmissionstab og kan dermed resultere i fejlagtige resultater. DS418 stiller krav til at brugeren har den fornødne tekniske indsigt og man kan derfor ikke ukritisk anvende de angivne metoder og tabelopslag. I de konkrete tilfælde, hvor det påvises at beregningsmetoden ikke giver en rimelig god tilnærmelse til de virkelige forhold, bør mere



detaljerede metoder tages i anvendelse. Derved har brugeren det fulde ansvar for at sikre, at de anvendte metoder giver et retvisende resultat.

For eksisterende byggeri vil kuldebroernes relative andel ofte være mindre end for nybyggeri, i det der kan være forbehold for hvor meget den eksisterende klimaskærm kan energioptimeres. Til forskel fra nybyggeri kan trækonstruktioner i det eksisterende byggeri sætte begrænsninger for varmebesparende tiltag, f.eks. ved indvendig efterisolering af ældre bygninger med træbjælkelag, da det kan give anledning til fugtproblemer. Den eksisterende konstruktionstype i det pågældende projekt vil spille en afgørende rolle for hvilken indflydelse kuldebroerne vil have på klimaskærmens varmetab samt muligheder for implementering af varmebesparende tiltag.

Ved ombygning og renovering vil der ofte være konstruktive bindinger som kan gøre det vanskeligt at efterleve de skærpede krav til U-værdier og linjetab jf. bygningsreglementets §279 når konstruktionernes U-værdier korrigeres for alle relevante kuldebroer. Med henvisning vejledningen for "Ofte rentable konstruktioner" kan der være forhold i den konkrete bygning, som kan medføre, at isoleringsarbejdet er vanskeligt at gennemføre, således at arbejdet ikke er rentabelt.

Publikationens formål er ikke at eliminere kuldebroer, men derimod at skabe fokus på at de konstruktive principper og detaljer bearbejdes tværfagligt igennem hele processen. En helhedsmæssig vurdering af betydningen for energi, fugtrisici, arkitektur, funktion, bygbarhed

og økonomi vil skabe en bedre tværfaglig proces og et mere retvisende energiforbrug

Projektet har haft til hensigt, at sætte kuldebroer på dagsorden og få sat gang i en debat omkring hvordan kuldebroer kan og bør håndteres i byggeriets praksis.

For at understøtte håndteringen af kuldebroer i byggeriets praksis, er der fortsat et behov for at have fokus på problemstillingerne i branchen. Lovgivningen har, i projektperioden, taget et afgørende skridt i den rigtige retning, ved at henvise eksplicit til vigtigheden af at medtage kuldebroer i beregningen af U-værdier og transmissionstab. I 'Bygningsreglementets vejledning omkring energiforbrug' (pkt. 1.4), understreges at kuldebroer typisk vil bidrage til en forøgelse af transmissionstab på 50-70 %.

Med udgangspunkt i de nuværende regelsæt og beregningsmetoder ses dog fortsat et behov for regulerende tiltag, som kan adressere de relevante problemstillinger. Eksempelvis kunne forventninger til dokumentationsniveau ensrettes og specificeres gennem tilføjelsen af et særskilt fane i Be18, hvor varmetabet fra kuldebroer defineres særskilt med tilknytning til de primære konstruktioners U-værdier (og ikke som korrigerede U-værdier). På baggrund af de inddaterede værdier opsummerer programmet selv de korrigerede U-værdier. Tiltaget vil dog ikke garantere en korrekt beregning af varmetabet, men vil tydeliggøre at der må forventes et bidrag og ikke mindst synliggøre de enkelte bidrag til transmissionstab mere igennem hele processen.



Endvidere er der behov for at adressere de procesmæssige udfordringer, som relaterer sig til både forventet dokumentationsniveau og hvornår i processen dokumentationen skal foreligge endsige opdateres. Ved aflevering af myndighedsprojekt har projekterne typisk ikke en detaljeringsgrad, hvor kuldebroernes varmetab kan beregnes nøje. Stikprøvekontrollen, som laves efter opført byggeri, giver beskedne muligheder for udbedring af evt. kuldebroer.

Der er behov for at få etableret fælles retningslinjer for håndteringen af kuldebroer, særligt mellem myndighedsprojekt og stikprøvekontrol – hvor løsningen ikke nødvendigvis er en eskalering af antallet af numeriske beregninger. Disse retningslinjer bør på holistisk vis, sikre at vores fremtidige bygninger både er energibesparende, æstetiske og ikke mindst bygbare.

Det kan være vanskeligt for rådgiveren at vurdere hvornår man har lavet en dokumentation af bygningens transmissionstab som lever op til bygningsreglements bestemmelser. Der henvises i bygningsreglementet til DS 418 Beregning af bygningers varmetab, som indeholder en række eksempler og hjælp til beregning af kuldebroer. Det fremgår samtidig af DS 418 at man i de konkrete tilfælde, hvor det påvises at beregningsmetoden ikke giver en rimelig god tilnærmelse til de virkelige forhold, skal tage mere detaljerede metoder i brug. Det rejser følgende problemstillinger:

- Brugerens skal være i stand til at vurdere om de anvendte tabelopslag eller beregningsmetoder foreskrevet i DS418 sikrer et resultat, som giver en rimelig god tilnærmelse til de virkelige forhold. Dette er en øvelse, som reelt set kræver at man laver en numerisk beregning og sammenholder med de anvendte tabelopslag og forsimplede beregningsmetoder.
- Hvordan defineres en rimelig god tilnærmelse af de virkelige forhold og hvor store afvigelser kan der så accepteres når der anvendes forsimplede metoder?

I forbindelse med udrulningen af BR18 er der indført krav om at der skal foretages stikprøvekontrol af den samlede tekniske dokumentation i 10 % af alle byggesager, herunder også dokumentation for at kravspecifikationer (jf. BR18, kapitel 11) er opfyldt og dokumenteret korrekt. Her udestår fortsat en vejledning til omfang og forventet niveau for slutdokumentation.

Gennem publikationen er det forsøgt at udstikke retningslinjer for hvordan man på bedste vis kan håndtere kuldebroer igennem processen og tillægge usikkerheder afhængig af anvendt metode. anbefalinger til proces og arbejdsgang kan således ligge til grund for en viderebearbejdning og fastlæggelse af faste retningslinjer for minimumskrav til dokumentation for branchen.

Med hensyn til en vurdering af hvor mange ressourcer det er rimeligt at bruge, bør der generelt fastlægges en klar baseline for, hvor detaljeret man skal dokumentere transmissionstabet for en given bygning.

APPENDIKS

Appendiks I. Kortlægning af kuldebroers betydning

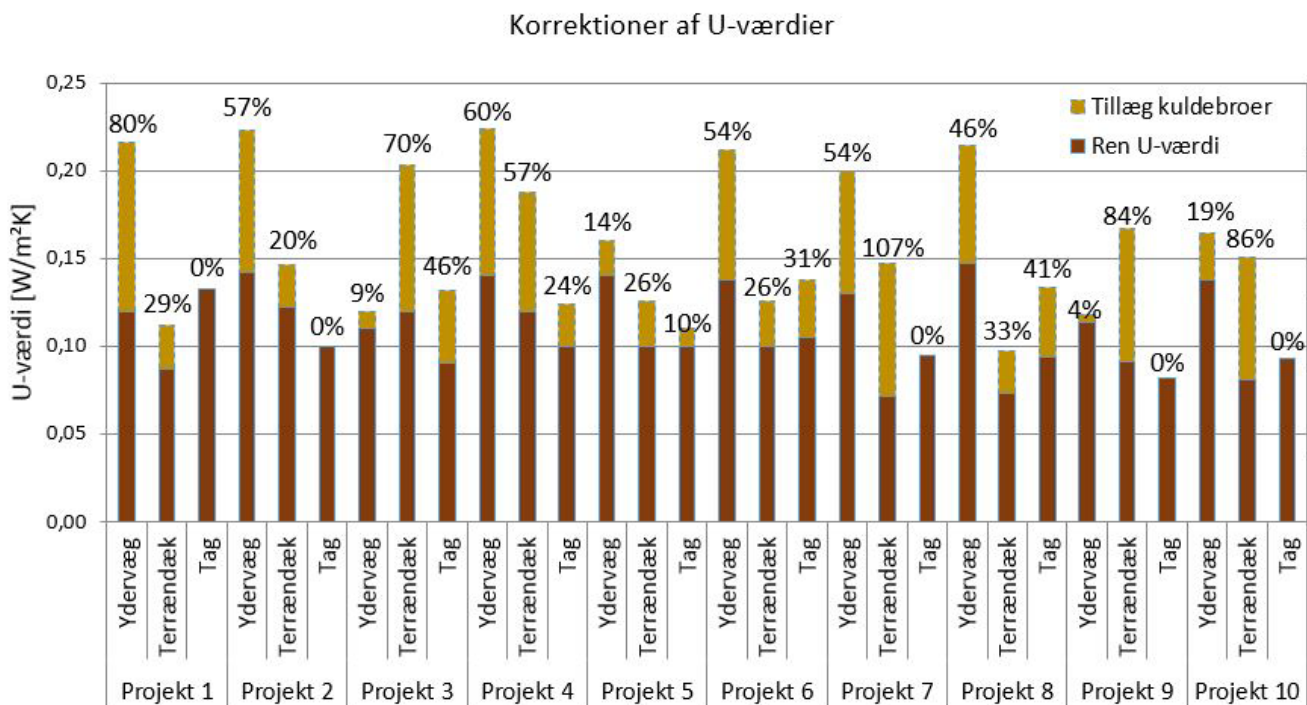
Appendiks II. Cases for korrigeret u-værdi

Appendiks III. Parametervariationer af typiske linietaf

APPENDIKS I - Kortlægning af kuldebroers betydning

I forbindelse med indsamling af viden om kuldebroernes betydning for klimaskærmens varmetab, er der for ti udvalgte projekter udført en opsummering, der kortlægger forskellige kuldebroers betydning for forskellige konstruktionstyper. De ti projekter har som fællesnævner, at der har været fokus på dokumentationen af kuldebroer. Projekterne er i øvrigt forskellige i materialevalg og udformning. Hovedsageligt er projekterne dog etagebyggeri, men blandet erhverv og bolig.

I det følgende præsenteres den opsamlede viden, og der kommenteres på de konklusioner, som der kan udledes herfra. I nærværende opgørelser er klimaskærmen opdelt i alene ydervæg, terrændæk og tag.



Figur A1 - Opsummering af resultater for indregning af kuldebroer i U-værdierne for 10 forskellige projekters klimaskærme. Procentangivelsen på grafen angiver, hvor meget den homogene konstruktion for de enkelte bygningsdele er korrigeret for kuldebroer.

Resultaterne afslører at U-værdien for ydervægskonstruktioner i gennemsnit forøges med 40 % (median 50 %). Korrektionen varierer dog i et stort spænd fra 4 og 80 %. Variationerne kan tilskrives store forskelle i kompleksitet og konstruktionsprincipper. For projekt 9 med en korrektion på 4 % for ydervæggen, er der tale om etplans rækkehuse i træ hvor kuldebroerne er meget begrænset. For projekt 1 hvor der ses en korrektion på 80 %, er der tale om et etagebyggeri med særligt mange komplicerede konstruktive detaljer (altaner, etageadskillelse mv) og et forholdsvis lille ydervægsareal at fordele kuldebroerne ud på.

U-værdien for terrændæk korrigeres i gennemsnit med 54 %, hvilket afspejler at terrændækket ofte indeholder mange gennembrydninger i form af skillevægge og elevatorgruber. Forøgelsen varierer i ovenstående eksempler fra 20 til 107 %, og kan forklares med projekter med konstruktive udfordringer som eksempelvis dårlige jordbundsforhold, høje bygninger mv. Terrændæk med lave korrektioner afspejler typisk 1-2 plans bygninger med mulighed for at udføre skillevægge og fundamenter i letklinker/gasbeton frem for armeret beton.

Gennemsnitligt for U-værdien af tage sker der en forøgelse på 15 %. Medianen er dog kun 5 %, hvilket vidner om at der typisk ikke er en særlig stor forøgelse af tagets U-værdi. I særtilfælde med fx mange fastgørelser af tagterrasseværn, drivhuse eller solcellepaneler uden ballastløsninger ses dog de større forøgelser af U-værdien som i projekteksempel 3, 4 og 8.

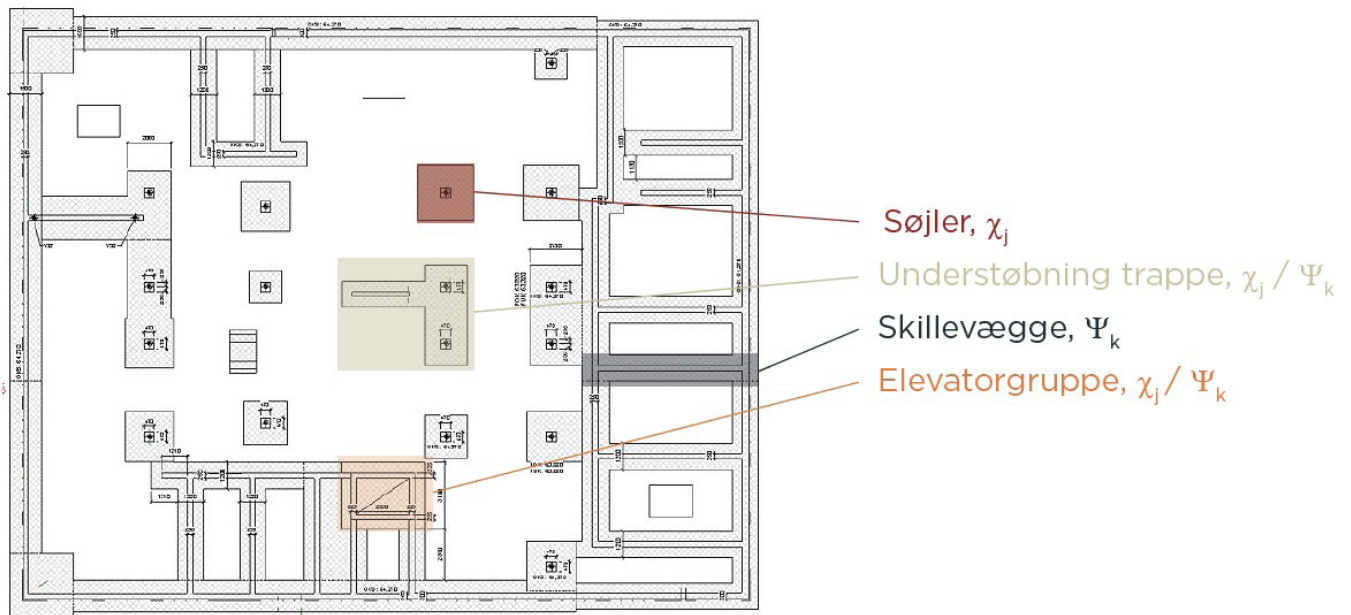
Opsummeret er det altså vigtigt at tage det pågældende projekts udformning og funktioner i betragtning ved en indledende procentvis forøgelse af den rene U-værdi.

APPENDIKS II - Cases for korrigeret u-værdi

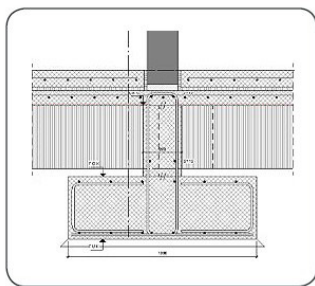
I det følgende præsenteres 3 cases hvor kuldebroer er dokumenteret og korrigeret ind i den primære konstruktions U-værdi. Resultaterne sammenlignes med forsimplede metoder og tabelopslag.

1. Terrændæk

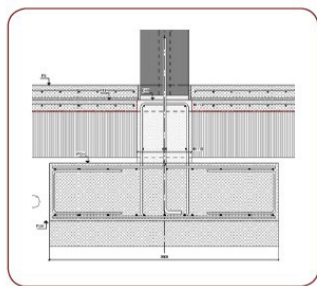
Nedenstående terrændæk fra en typisk erhvervsbygning i 4 plan med et fodaftryk på ca. 900 m². Terrændækket udføres med traditionelle løsninger og skal korrigeres for søjler, trappeunderstøbning, skillevægge og elevatorgrube.



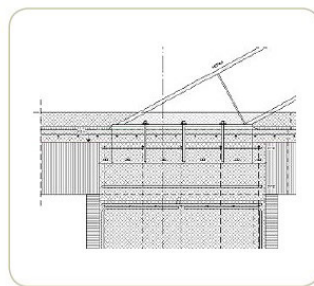
De 4 detaljer se af nedenstående figurer.



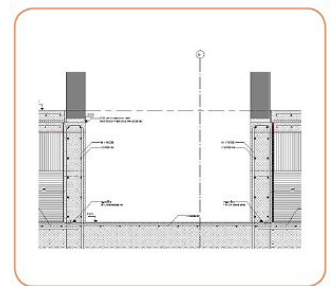
Skillevægge, Ψ_k



Søjler, χ_j



Understøbning trappe, χ_j / Ψ_k



Elevatorgruppe, χ_j / Ψ_k

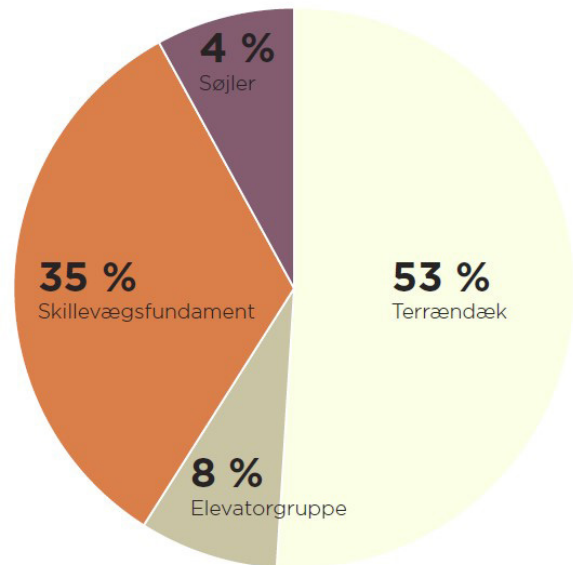
Resultaterne af de beregnede linjetab og punkttab for terrændækket fremgår af nedenstående tabel.

	Areal	Længde	Antal	U-værdi	Linjetab	Punkttab
	[m ²]	[m]	[-]	[W/m ² K]	[W/m K]	[W/K]
Terrændæk	862			0,08		
Elevatorgruppe (linjetab)		16			0,71	
Skillevægsg fundament		132			0,36	
Søjler			17			0,36

Numerisk beregning	0,16 W/m ² K	Forøgelse +98 %
Simpel beregning	0,13 W/m ² K	Afvigelse - 23 %

U-værdien for den én dimensionale opbygning af terrændækket er beregnet til 0,08 W/m²K. Korrigeret for de indgående kuldebroer forøges denne med næsten 100 % til 0,16 W/m²K.

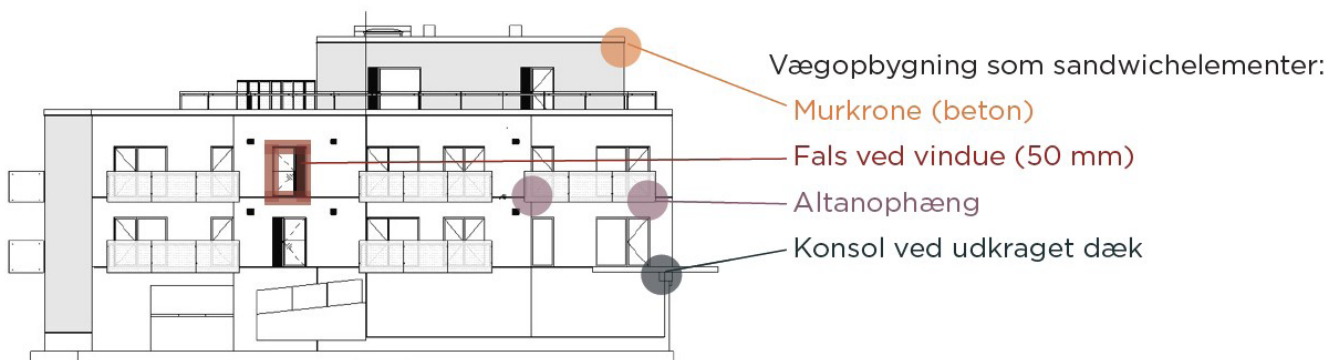
Uden brug af numeriske metoder til dokumentation af linjetab og kuldebroer, er der som alternativ anvendt forsimplede metoder og betragtninger, herunder DS418. Beregningen viser en afvigelse for den korrigerede U-værdi på næsten 25 % i forhold til de numeriske metoder.



Fordeling af transmissionstab

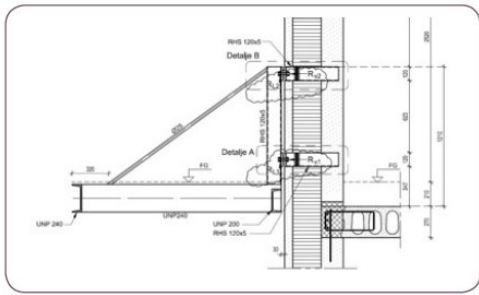
2. Tung ydervægskonstruktion

Case 2 viser en et mindre etagebygger udført i sandwichelementer. De tilhørende detaljer er ved første gennemsyn helt traditionelle løsninger.

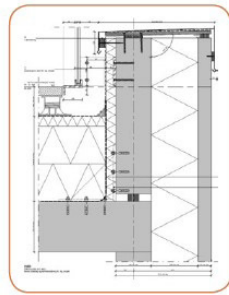


Der er identificeret følgende 4 betydende kuldebroer som skal indgå i ydervæggens korrigerede U-værdi. Hele murkronens bidrag er i taget til indtægt i de følgende beregninger, men kunne fordels ligeligt på tag og væg.

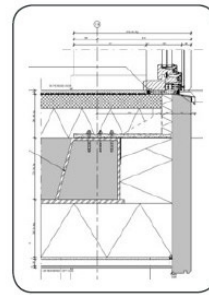
Detaljerne illustreres overfor.



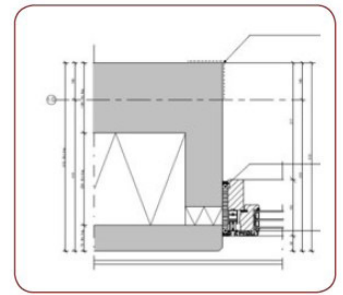
Altanophæng



Murkrone



Udkraget dæk



Fals ved vindue

Resultaterne af de beregnede linjetab og punkttab for ydervægskonstruktionen fremgår af nedenstående tabel.

I beregningen sandwich elementet som en systemleverance er der korrigeret for ribber, bindere mv. Dvs. at den opgjort forøgelse er uden disse kuldebroer.

	Areal	Længde	Antal	U-værdi	Linjetab	Punkttab
	[m ²]	[m]	[-]	[W/m ² K]	[W/m K]	[W/K]
Elementberegning inkl. ribber	231			0,146		
Altanophæng			20			0,42
Murkrone (beton)		55			0,40	
Konsol, udkraget dæk		13			0,024	
Betonfals		245			0,043	

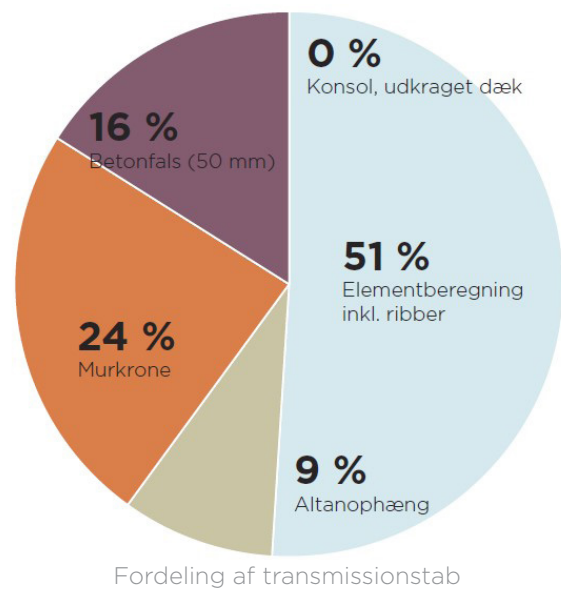
Numerisk beregning	0,33 W/m ² K	Forøgelse +126 %
Simpel beregning	0,29 W/m ² K	Afvigelse - 14 %

De indledende detaljeløsninger og omfang af kuldebroer giver anledning til bygningsreglementets krav til mindste varmeisolering ikke overholdes. Dog in mente at murkronen har stor betydning og kan fordeles mellem tag og væg.

En tilsvarende beregning med forsimplede metoder og betragtninger, herunder DS418, viser en negativ afvigelse på ca. 14 %.

Ved at optimere murkrone til letbeton og ændre betonfals til pladefals kan U-værdien reduceres til 0,23 W/m²K og yderligere til 0,17 W/m²K hvis der introduceres kuldebrosafbrydelse ved altanen.

Optimeringerne kræver en tværfaglig dialog og for alle tre forbedringer (energimæssige) gælder at man skal have bygbarhed og økonomi for øje.

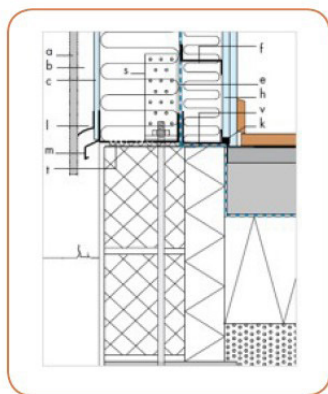


3. Let ydervægskonstruktion

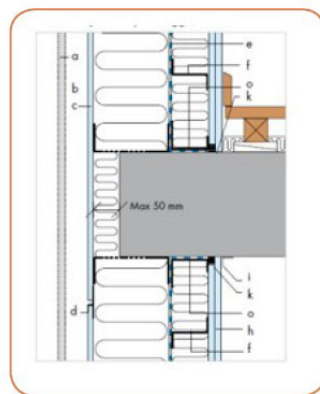
Case 3 viser et eksempel på en let facadeopbygning i tyndpladeprofiler som udfyldende facader. Eksemplet er en fiktiv case bygget op omkring typiske detaljer fra en producents generelle systemmanual.



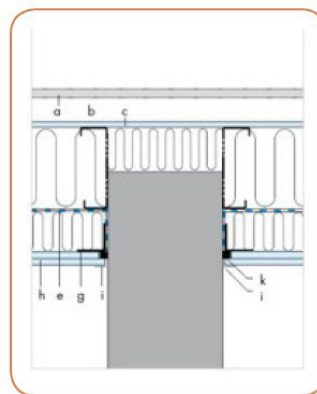
Beregningen af den korrigerede U-værdi er primært baseret på nedenstående 4 detaljer for udfyldende facader fra Knauf's systemmanual. Murkronen er ikke vist, men indgår som en mindre betydende parameter i det samlede regnestykke.



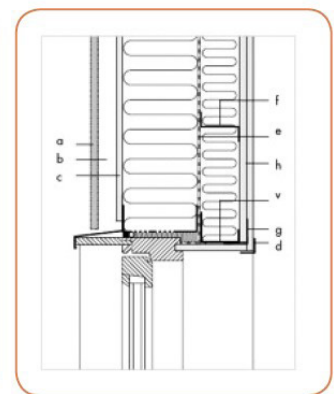
Hjørnesamling



Etageadskillelse

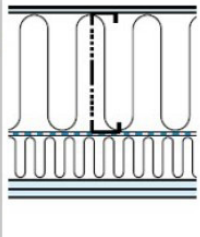


Lejlighedsskel



Overkant vinduer

Til de enkelte systemer findes opslag med U-værdier for et repræsentativt snit i ydervæggen. Her er der ikke taget højde for korrektion af øvrige kuldebroer og man derfor nemt komme på bagkant hvis man i de tidlige faser designer ud fra denne værdi.

U5	YU RY250/Z95 600 EH/AA	52	60	0,13	55	380	(regnskærm) 1 x 9,5 mm Clima Board eller Weather Board RY 250 profiler 250 mm mineraluld Dampspærre Z-95 profil 95 mm mineraluld 2 x 12,5 mm Classic 1 Board	
	eller YU RY250/Z95 600 WB/AA							

Generel ydervæg med C-profiler (c/c 600 mm) og Z-profiler (c/c 450 mm)

Af nedenstående tabel er de enkelte delberegninger opsummeret. Linjetabet for C-profil og Z-profil samt det afledte tab i samlingen er beregnet særskilt. Selvom princippet måske lægger op til at C-profilerne sidder cc/600, så vil der i praksis altid være en større andel af stål for at tage højde for placering af vinduer, bundprofiler mv. Tabet for hver konstruktionsdel beregnes og opmåles.

Alle beregninger er udført numerisk i HEAT2 og HEAT3.

Det kan være en meget tidskrævende opgave at dokumentere og udføre alle disse beregninger, men som det vil vise sig så har summen af alle bidrag meget stor betydning for den korregerede U-værdi.

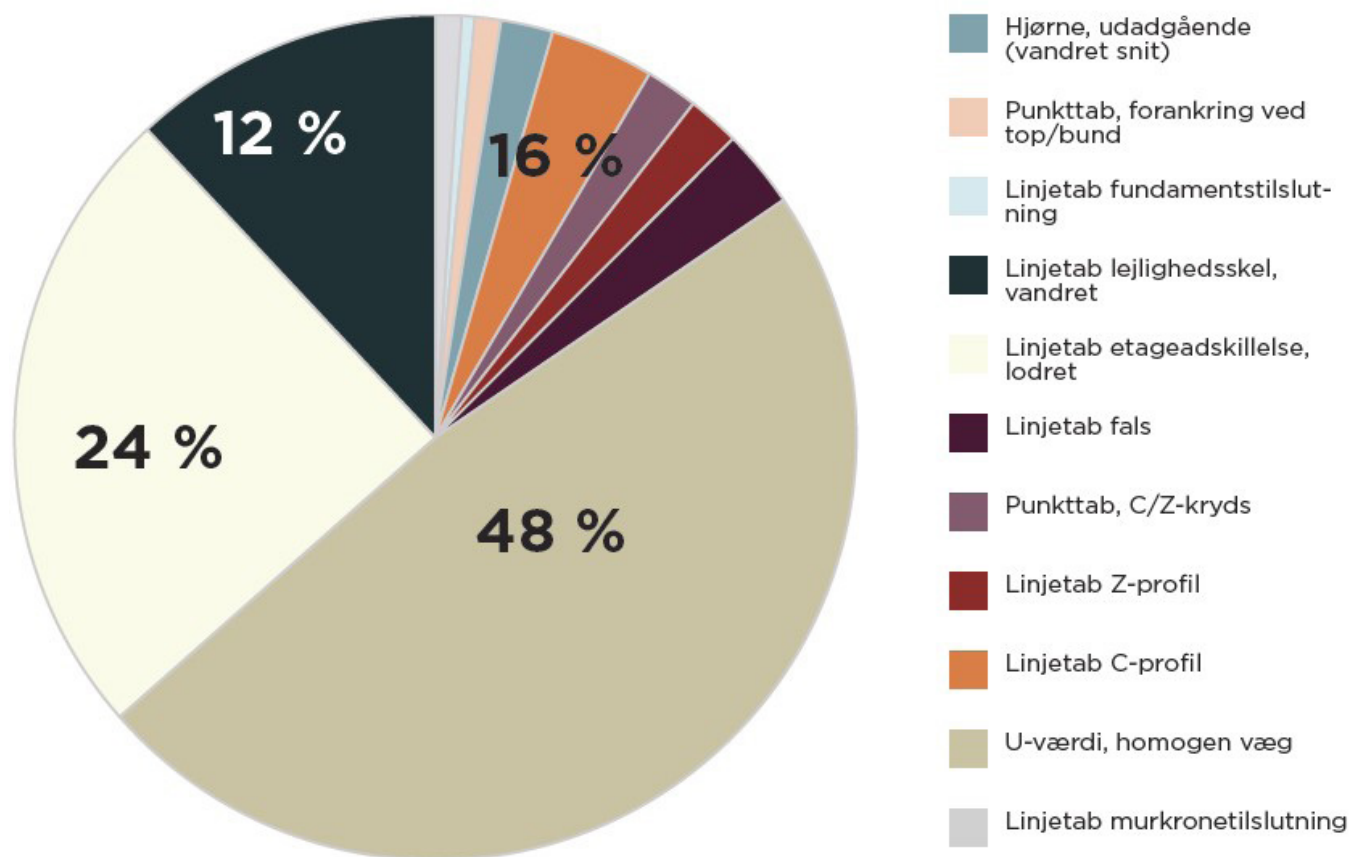
	Areal	Længde	Antal	U-værdi	Linjetab	Punkttab
	[m ²]	[m]	[-]	[W/m ² K]	[W/m K]	[W/K]
U-værdi, homogen væg	66,77			0,105		
Linjetab, fals		57,3			0,007	
Linjetab, C-profil		77,4			0,009	
Linjetab, Z-profil		75,6			0,004	
Hjørne, udadgående (vandret snit)		118			-0,003	
Linjetab, etageadskillelse		13,7			0,245	
Linjetab, lejlighedsskel					0,122	
Linjetab, murkrone		7,2			-0,030	
Linjetab, bundprofil		7,2			0,007	
Punkttab, forankring ved top/bund			24			0,007
Punkttab, C/Z kryds			118			0,040

* Indgår ikke i beregningen af det valgte udsnit snit

Numerisk beregning	0,21 W/m ² K	Forøgelse + 100 %
Simpel opslag	0,13 W/m ² K	Afvigelse - 62 %

Sammenholdt med det ubrudte isoleringslag, er der en forøgelse på 100 % ved numerisk beregning af den korregerede U-værdi. Til sammenligning vil et forsimplede tabelopslag med en U-værdi 0,13 W/m²K give anledning til en afvigelse på mere end 60 % i forhold til de numeriske beregninger.

Fordelingen af transmissionstabet på de enkelte linjetab og konstruktioner ses af nedenstående figur. Der er 3 dominerende parametre som udgør 84 % hvor 8 mindre tilsammen udgør 16 %.



APPENDIKS III - Parametervariationer af typiske linietaf

I det følgende opsummeres en række resultater fra parametervariationer udført for vinduesfalsen og skillevæggsfundamentet. To detaljer som er meget typiske og som hver især kan udgøre en væsentlig andel af korrektionen for de respektive konstruktioner såvel som det samlede transmissionstab.

Resultaterne er medtaget for at vise hvilke parametre der har betydning og dermed styrke grundlaget for træffe de rigtige beslutninger i designfasen.

1. Fals

Med henblik på at kortlægge falsens indflydelse på klimaskærmens varmetab er der udført en række parameteranalyser, med det formål at kunne belyse og anskueliggøre hvilke forhold (konstruktive som materielle), der har betydning for både samlingstabet Ψ_{sa} og det konstruktive tab, Ψ_k for en typisk fals. Samlingstabet er defineret som det tab, der er forårsaget af vindues placering i forhold ydervæggen. Det konstruktive tab er defineret som det tab, der er forårsaget af en konstruktiv ændring i ydervæggens generelle opbygning.

Dette appendiks præsenterer dermed en række parametervariationer og opsummerer de enkelte tiltags betydning for linjetab ved fals.

Omfang

Parametervariationerne tager udgangspunkt i følgende fem almindelige fals-opbygninger:

- Pladefals
- Betonfals
- Gasbeton
- Fals i tyndpladeprofiler
- Fals i træskelet

Metode og værktøj

For alle fem konstruktionsprincipper er der fastlagt en referenceopbygning, for hvilken der er udført udføres parametervariationer ud fra. Der varieres kun på én parameter af gangen.

Beregninger er udført med HEAT2 efter DS 418 Annex C, Bestemmelse af linjetab for samlinger omkring vinduer og døre.

Det konstruktive bidrag i falsen er beregnet som forskellen mellem tabet i udsnittet med den aktuelle fals og tabet i et tilsvarende udsnit med en homogen konstruktionsopbygning.

1.1 Pladefals

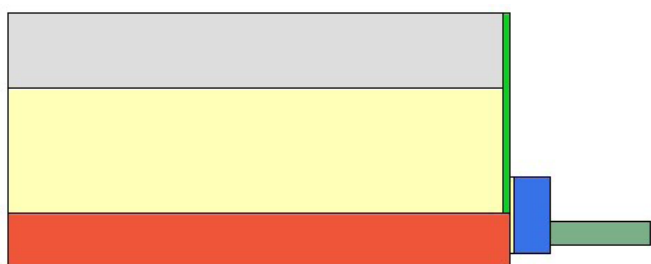
Selve den konstruktive udformning er meget lille (smal) og det konstruktive tab vil derfor være mindre sammenlignet med eksempelvis en muret eller beton fals. Omvendt vil pladefalsen typisk give anledning til et større samlingstab, Ψ_{sa} da vinduets normale placering ved formuren giver anledning til relativ stor påvirkning af isolinierne i murværket.

1.1.1 Referencemodel

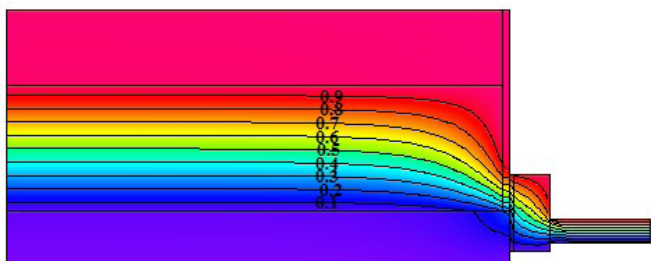
Nedenfor illustreres detaljetegningen for referencemodellen med tilhørende beregningsmodel og resultat fra HEAT2 beregning.

Materiale	Tykkelse [mm]	Lambda [W/mK]
Bagmur i beton	0,15	2,1
Mineraluld	0,25	0,034
Formur i tegl	0,108	0,55

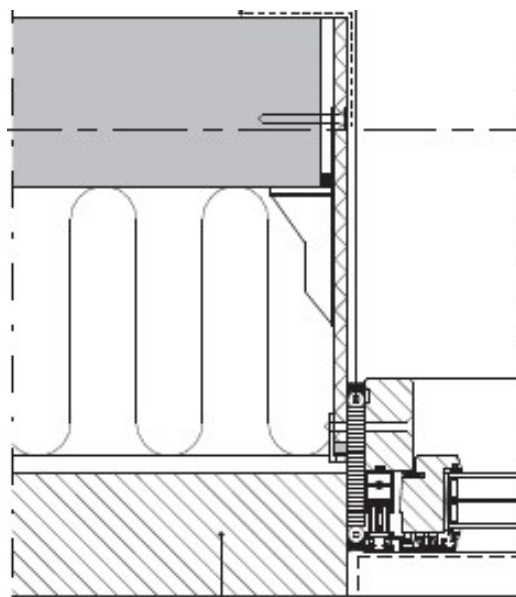
Vindueskarmen er 150x70 mm i referencen.



Beregningsmodel i HEAT 2



Isolinier i HEAT 2, referencemodel



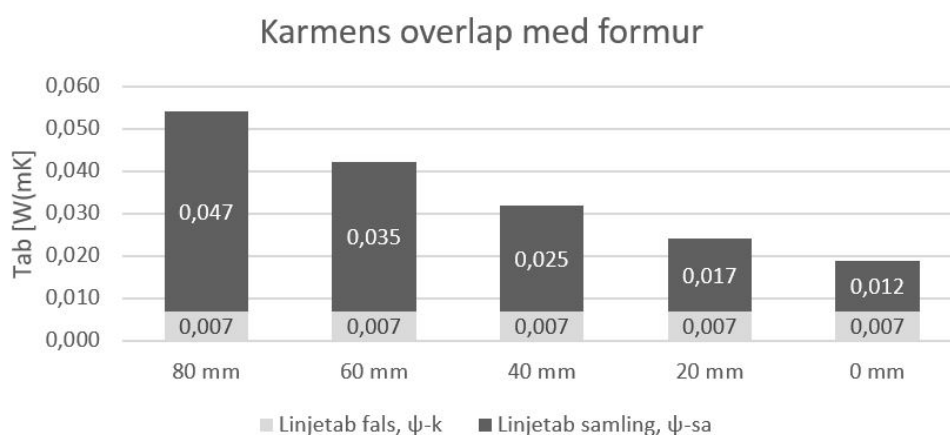
Detaljtegning af pladefals

1.1.2 Parametervariation og resultat

Pladefals-opbygningen er analyseret med henblik på at finde betydningen af følgende variationer:

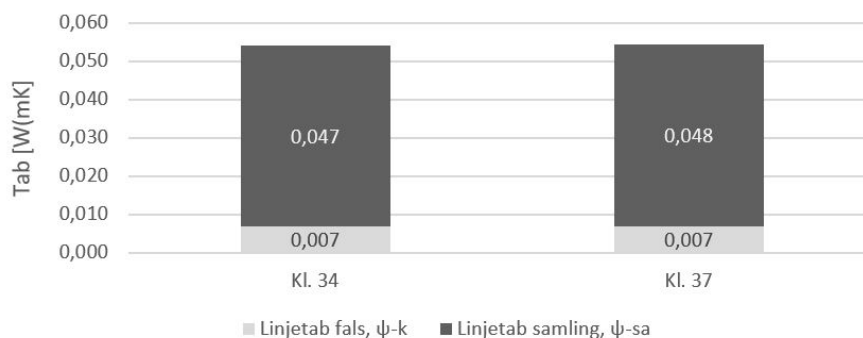
- karmens placering i forhold til formuren
- isoleringsklassen for samlingen
- isoleringstykkelsen
- karmens dybde

På de følgende grafer illustreres et opsummeret resultat af de udførte variationer. Grafens overskrift angiver, hvad der varieres. Det konstruktive tab angives med lysegrå, og samlingstabet med mørkegrå.



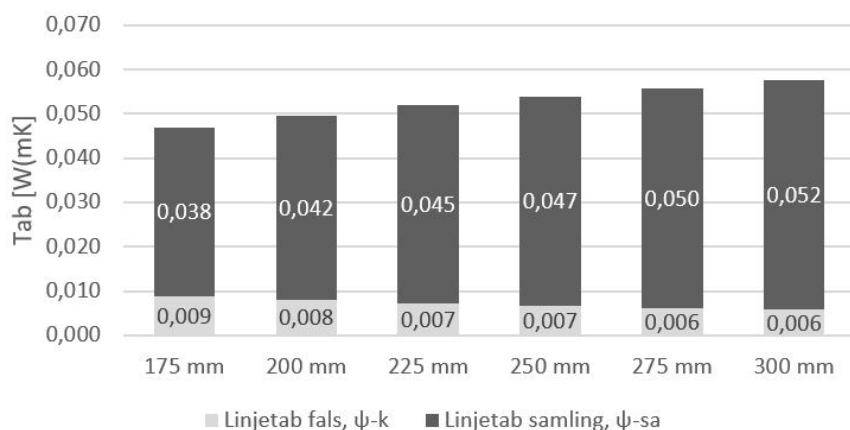
Ovenstående resultater visualiserer, at jo mindre overlap – og dermed jo karmen kommer på center af ydervæggens isolering, jo mindre bliver samlingstabet. Det konstruktive tab under samlingen ændres ikke i nærværende parametervariation, da udformningen af fals er uændret. Normalt vil karmen dog i praksis skulle have et overlæg med formuren..

Isoleringsklasse for isolering i samlingen



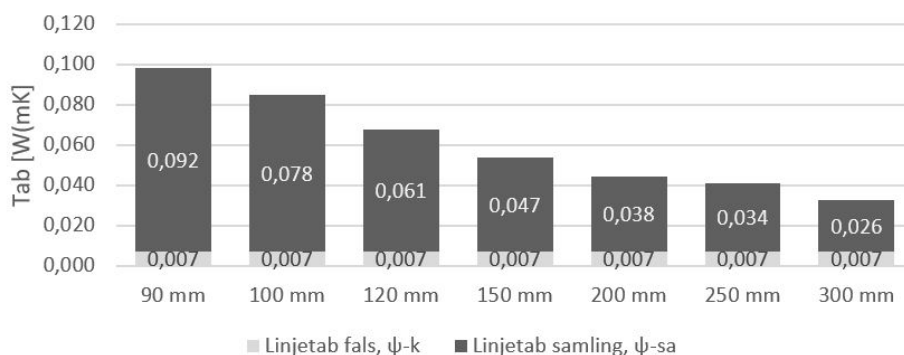
Ovenstående resultater viser, at isoleringsklassen for isolering i samlingen (den lille strimmel under karmen) ikke har nogen betydning for samlingstab.

Isoleringstykkelse i ydervæg



For ovenstående variationer har karmen et fast overlap med formuren på 30 mm. Ved øget isoleringstykkelse forskydes isolinierne tilsvarende og dermed sker der også en lineær forøgelse af samlingstab.

Karmens dybde



Dybde på karmprofilen henfører alene til den isolerende del og ikke et evt. uisoleret kassetteprofil, der typisk kun har stabiliserende egenskaber. For aluprofiler vil der typisk være en større kasseprofil hvor den isolerende del kun udgør en mindre andel.

Ovenstående resultater viser, at karmens dybde har stor betydning for samlingstab og ingen betydning for det konstruktive tab (konstruktiv opbygning uændret). Et typisk karmprofil er 120-150 mm. Et bredere profil vil mindske samlingstab, fordi iso-linjerne i ydervæggen vil bøje mindre af i overgangen fra ydervæg til karm.

1.2 Betonfals

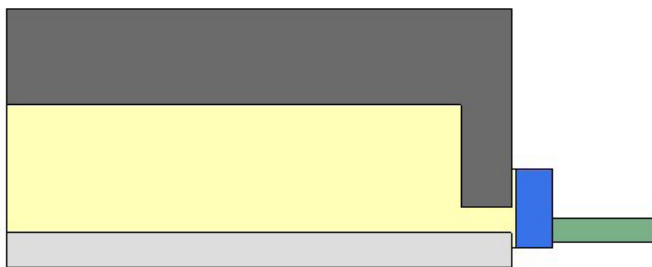
En betonfals er typisk en løsning som vælges i forbindelse med fx sandwichelementer. Det skyldes at hele konstruktionen støbes sammen samme tid. Bagvægselementer i beton kan også udføres med betonfals fra fabrikken.

En fordel ved betonfals er at det er en billig og simpel løsning, imens en udfordring er, at de forårsager et stort linjetab – sammenlignet med andre fals-opbygninger – som videre kan udfordre fx krav til bygningers transmissions-tab.

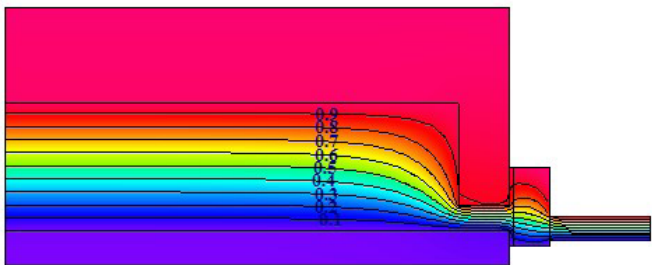
1.2.1 Referencemodel

Nedenfor illustreres referencemodellen for betonfalsens udformning i HEAT2, detaljetegningen af udformningen og resultatvisning fra HEAT2.

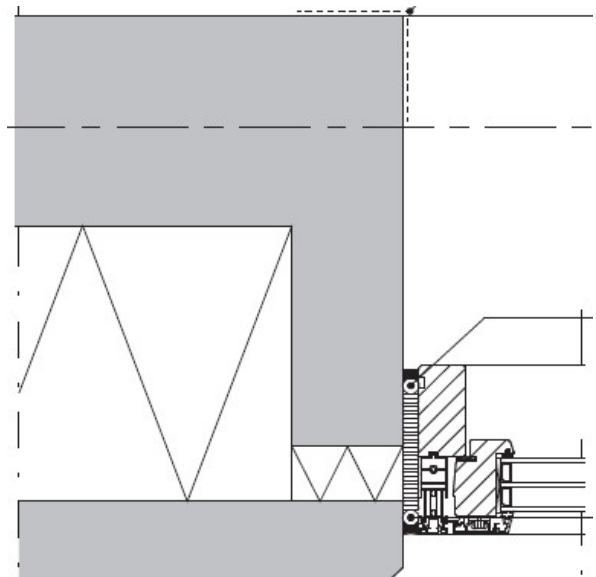
Materiale	Tykkelse [mm]	Lambda [W/mK]
Bagmur i beton	0,19	2,44
Mineraluld	0,25	0,034
Formur i beton	0,07	2,1



Forsimpling i HEAT 2, referencemodel (beregningsmodel)



Resultat i HEAT 2, referencemodel



Detaljetegning af betonfals

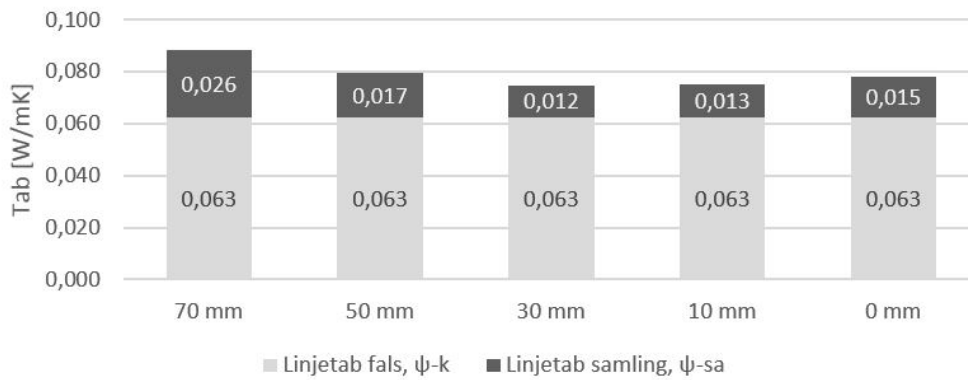
1.2.2 Parametervariation og resultat

Betonfals-opbygningen er analyseret med henblik på at finde betydningen af følgende variationer:

- karmens placering i forhold til formuren
- isoleringstykkelsen i ydervæggen og kuldeafbrydelsen
- falsens bredde
- varierende isoleringsklasser, fast U-værdi

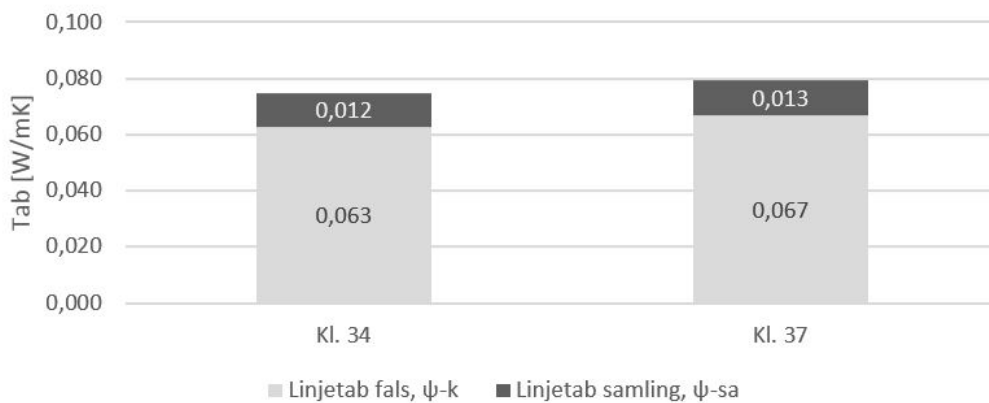
På de følgende grafer illustreres et opsummeret resultat af de udførte variationer. Grafens overskrift angiver hvad der varieres. Det konstruktive tab angives med lysegrå og samlingstab med mørkegrå.

Karmens overlap med formur



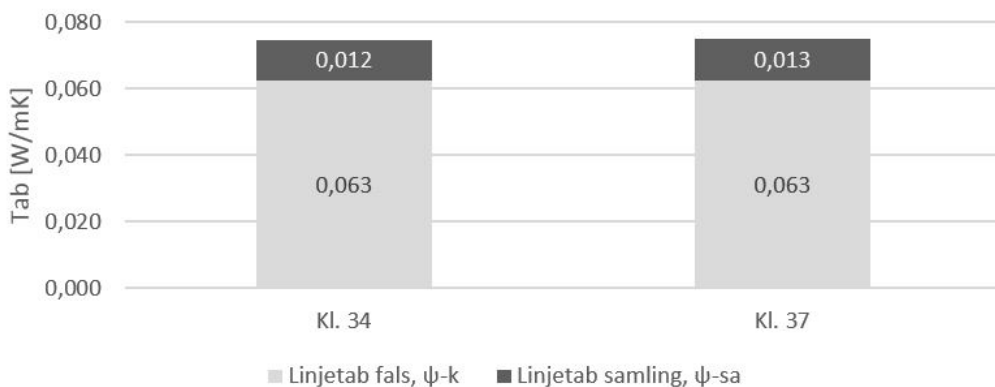
Ovenstående resultater visualiserer, at et overlap mellem isolator og formur på 30 mm er optimum i forhold til at opnå lavest samlingstab. Det konstruktive tab er uændret grundet ingen konstruktiv ændring. Af udførelsesmæssige hensyn vil der normalt altid være et overlap med formuren.

Isoleringsklasse for isolering i kuldeafbrydelse



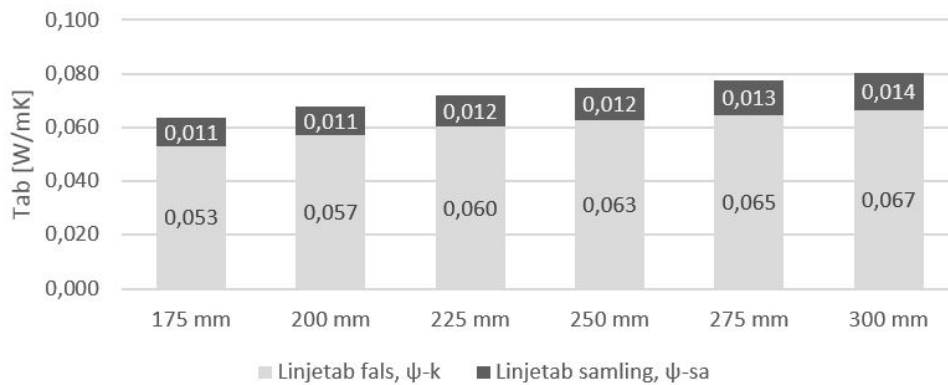
Ovenstående resultater visualiserer, at isoleringsklassen for isolering i kuldebrosafbrydelsen har tilnærmelsesvis ingen betydning.

Isoleringsklasse for isolering i samling



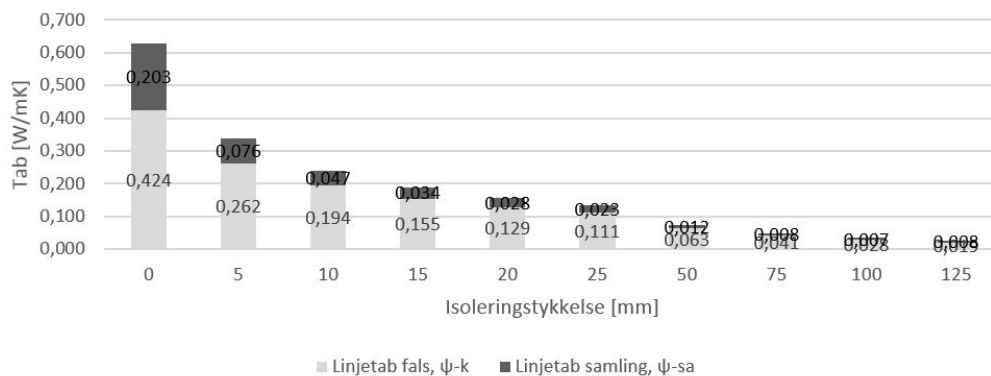
Ovenstående resultater visualiserer, at isoleringsklassen for isolering i samlingen (den lille strimmel) har tilnærmelsesvis ingen betydning.

Isoleringstykkelser i ydervæg



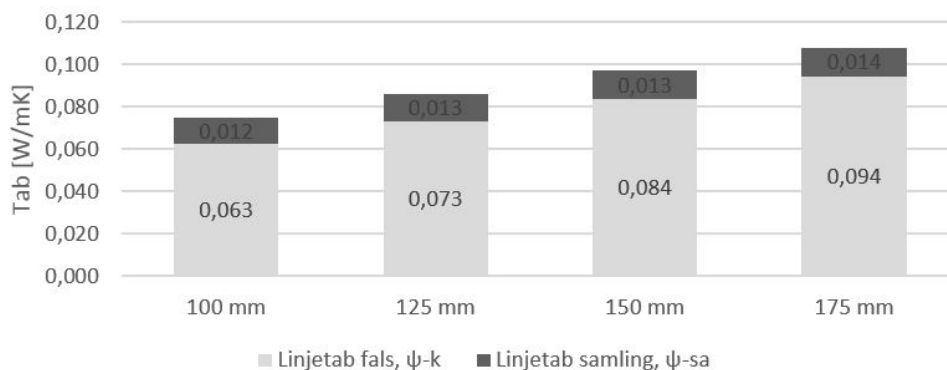
Ovenstående resultater visualiserer, at jo mere isolering og dermed også desto bredere ydervæg, jo større vil både samlingstab og det konstruktive tab i konstruktionen være. Dog er stigningen ikke bemærkelsesværdig stor. Forøgelsen skyldes at springet mellem isolering i ydervæg og fals forøges. Karmen har et overlap med formuren på 30 mm.

Isoleringstykkelser i falsen



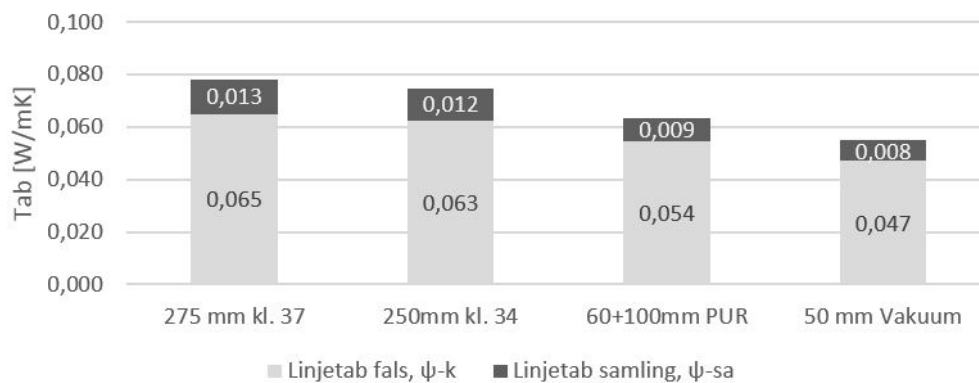
Øget isoleringsmængde i falsen mindsker både det konstruktive tab og samlingstabet. Det skyldes at isolerings-springet i overgangen til kuldebrosisoleringen og karmen minimeres og U-værdien i falsens tværsnit bliver mindre. Af udførelsesmæssige hensyn forudsættes normalt ikke mere end 50 mm isolering i falsen, da vindueskarm skal kunne fastgøres tilstrækkeligt uden ekstra foranstaltninger.

Falsens bredde



Ovenstående resultater visualiserer, at jo mindre falsens bredde er (i ydervæggens længderetning), jo lavere bliver både det konstruktive tab og samlingstabet. Det skyldes naturligvis at udbredelsen af tværsnittet med en dårligere u-værdi minimeres.

U-værdi = 0,13 W/m²K



Variierende kombinationer af isoleringstykkelse og -type for opnåelse homogene U-værdi, giver varierende bidrag til det konstruktive tab. Vakuum er vist som et ekstremt eksempel uden tanke for bygbarhed eller funktion. Ved anvendelsen af PUR materialer skal man ligeledes være opmærksom på udfordringer ift. Brand.

Der er forudsat mineraluld kl. 34 i falsen for både PUR og Vakuum af forventede brandmæssige hensyn. Netop derfor er der et betydeligt konstruktivt bidrag selv for Vakuum hvor isoleringstykkelsen er den samme for væg og fals. Så selv hvis man forsøger at designe sig ud af isoleringspring kan der være andre funktionskrav som kan give anledning til korrektioner af U-værdien.

1.3 Gasbeton

Gasbeton har en store bæreevne og styrke i forhold til dens vægt men anvendes typisk i lavt byggeri på 1-2 etager, som rækkehuse, enfamiliehuse mv. Materialet har en stor fordel af at være relativt varmeisolerende sammenlignet med beton.

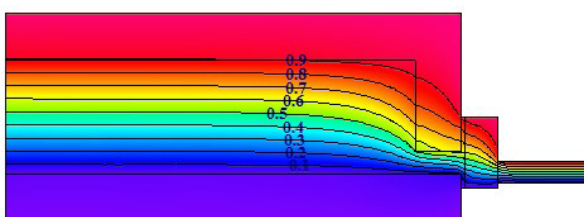
1.3.1 Referencemodel

Nedenfor illustreres referencemodellen for betonfalsens udformning i HEAT2, detaljetegningen af udformningen og resultatvisning fra HEAT2.

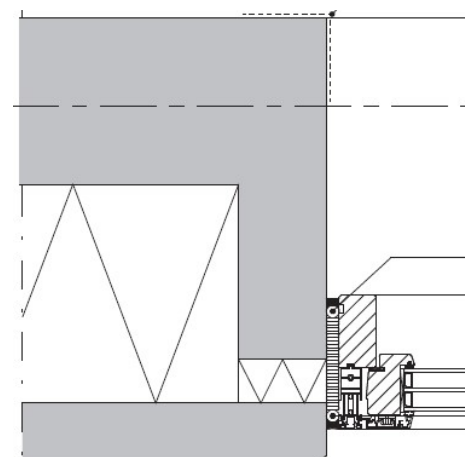
Materiale	Tykkelse [mm]	Lambda [W/mK]
Bagmur i gasbeton	0,100	0,7
Mineraluld	0,250	0,034
Formur i tegl	0,108	0,55



Forsimpling i HEAT 2, referencemodel



Resultat i HEAT 2, referencemodel



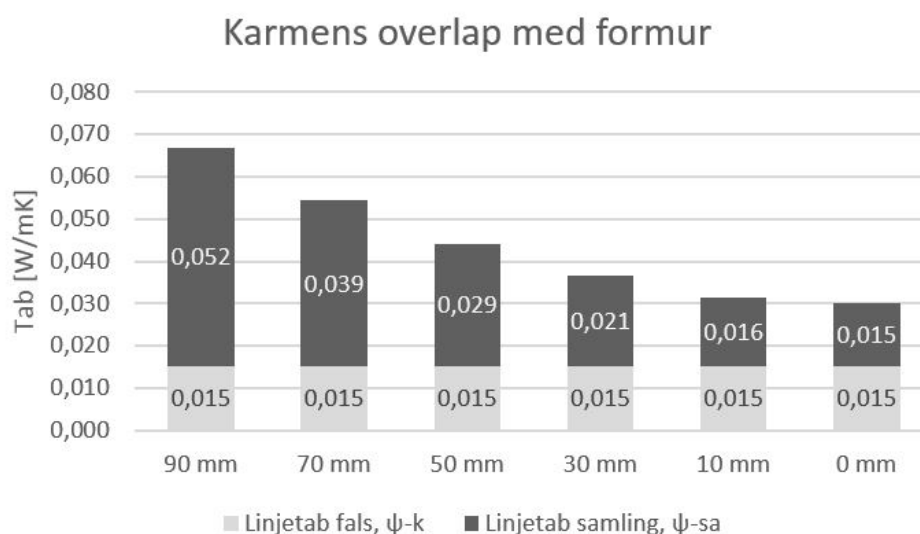
Detaljetegning af betonfals

1.3.2 Parametervariation og resultat

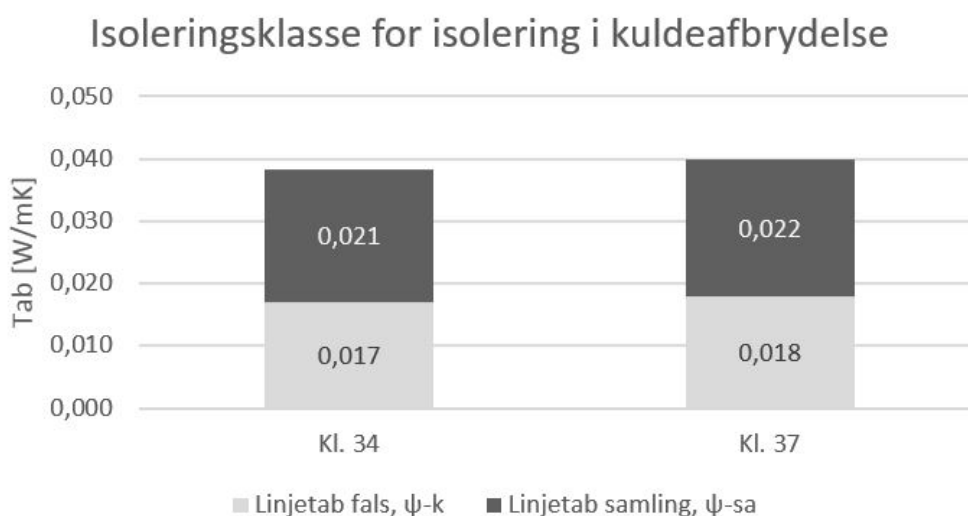
Gasbeton falsen er analyseret med henblik på at finde betydningen af følgende variationer:

- karmens placering i forhold til formuren
- isoleringsklassen for isolering i hhv. ydervæggen, kuldeafbrydelsen og samlingen
- isoleringstykkelsen i ydervæggen og kuldeafbrydelsen
- falsens bredde

På de følgende grafer illustreres et opsummeret resultat af de udførte variationer. Grafens overskrift angiver hvad der varieres. Det konstruktive tab angives med lysegrå og samlingstabet med mørkegrå.

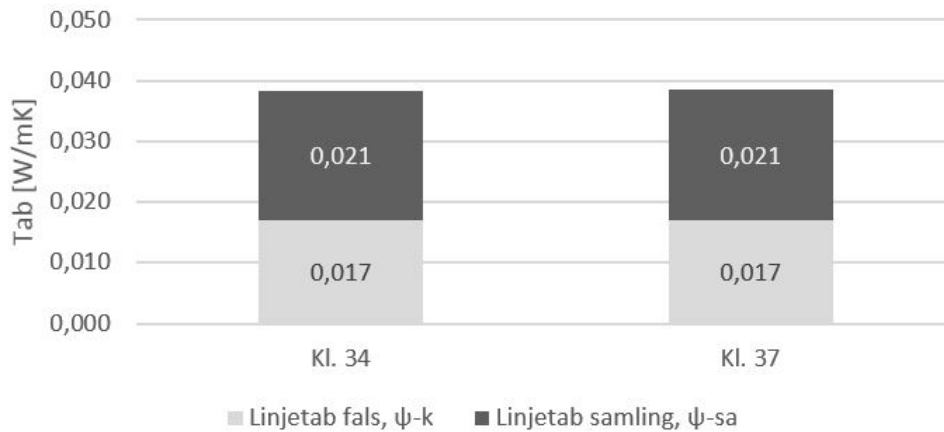


Ovenstående resultater viser en større betydning end det er tilfældet for beton falsen. Dette skyldes at falsen og bagmuren i dette tilfælde er noget bedre isolerende end formuren. Det konstruktive tab er uændret grundet ingen konstruktiv ændring. Af udførelsesmæssige hensyn vil der normalt altid være et overlap med formuren.



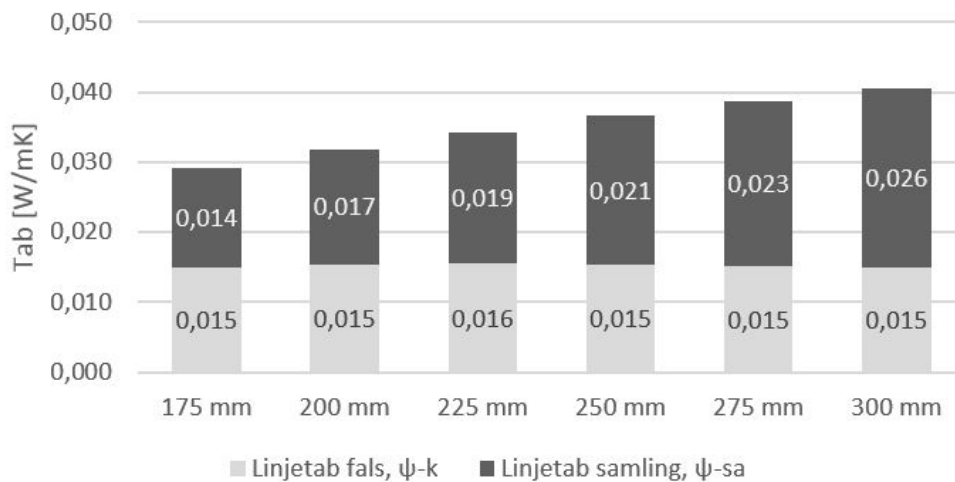
Resultaterne viser, at isoleringsklassen for isolering i kuldebrosafbrydelsen ikke har nogen betydning.

Isoleringsklasse for isolering i samling



Resultaterne viser, at isoleringsklassen for isolering i samlingen (den lille strimmel), ikke har nogen betydning.

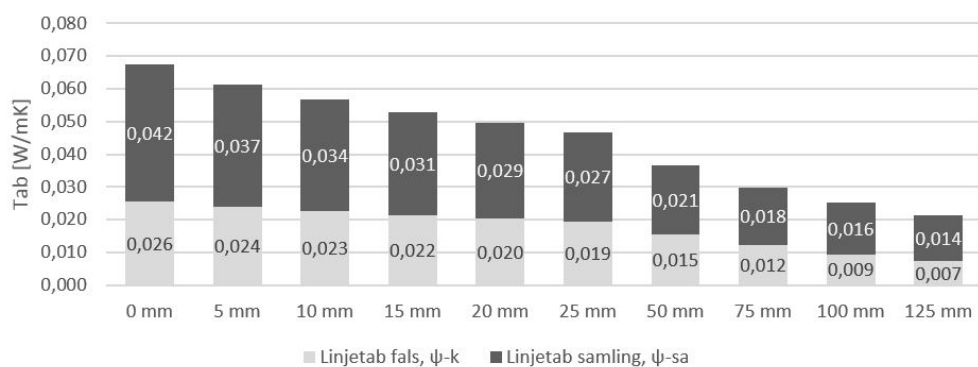
Isoleringsstykkelse i ydervæggen



Resultaterne visualiserer, at mere isolering i facaden ikke har den store betydning for det konstruktive tab i modsætning til løsningen med betonfals. Det kan skyldes, at gasbetonens lambda værdi er tilstrækkelig lav til at ændringerne ikke giver de store udslag i de konstruktive linjetab. Linjetabet for samlingen sigter lineært da springet i overgangen fra væg til vindue bliver større.

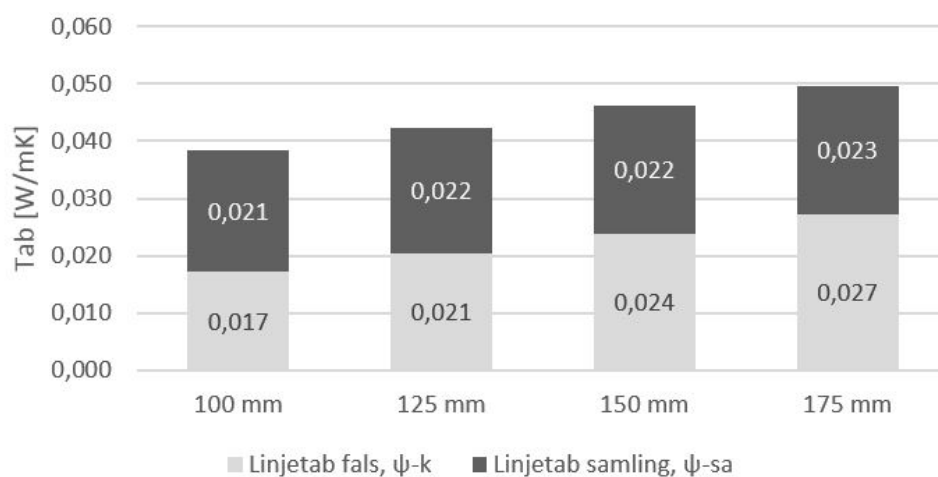
Sammenlignet med beton giver denne løsning et større bidrag til samlingstabet, da gasbeton som nævnt er mere isolerende og dermed spredes isolinierne i falsen generelt mere, hvilket bidrager til et større spring i overgangen fra væg til vindue.

Isoleringstykkelse i falsen



En forøgelse af isolering i kuldebrosafbrydelsen vil mindske både det konstruktive tab og samlingstabes. Af udførelsesmæssige hensyn forudsættes normalt ikke mere end 50 mm isolering i falsen, da vindueskarm skal kunne fastgøres tilstrækkeligt uden ekstra foranstaltninger.

Falsens bredde



Ovenstående resultater visualiserer, at jo mindre falsens bredde er (i ydervæggens længderetning), jo lavere bliver både det konstruktive tab og samlingstabes. Det skyldes naturligvis at udbredelsen af tværsnittet med en dårligere u-værdi minimeres.

1.4 Tyndplade

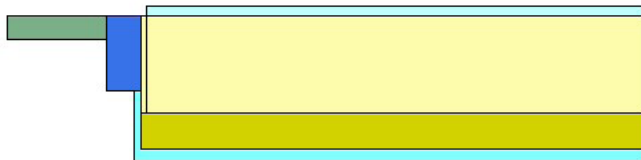
Facadeopbygninger i tyndpladeprofiler har mange egenskaber og anvendes ofte ifm. renovering. En let konstruktionsstype i et rent uorganisk materiale som er relativt nemt at bearbejde og håndtere.

1.4.1 Referencemodel

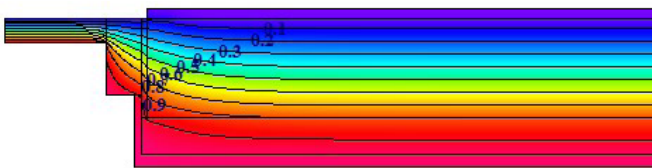
Nedenfor illustreres referencemodellens opbygning i HEAT2, detaljetegningen af udformningen og resultatvisning fra HEAT2.

Materiale	Tykkelse [mm]	Lambda [W/mK]
C-profil* m. 195 mm isolering	195	(0,037)
Z-profil m. 70 mm isolering	70	(0,037)

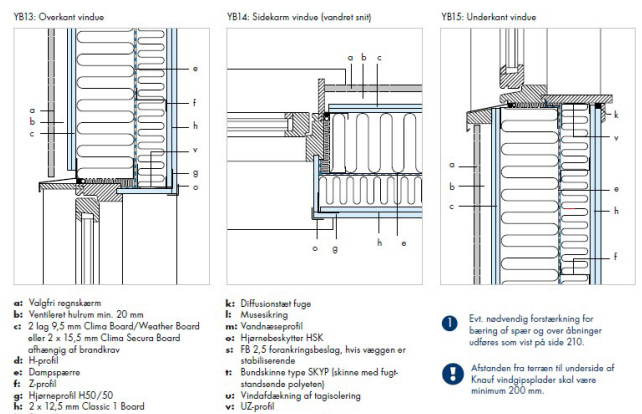
*slidset



Forsimpling i HEAT 2, referencemodel



Resultat i HEAT 2, referencemodel



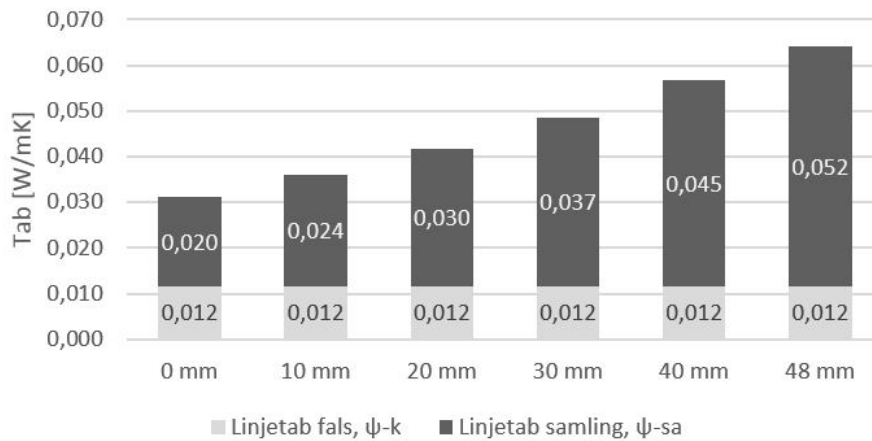
Detaljetegning af fals med tyndplade

1.4.2 Parametervariation og resultat

Tyndplade-falsen er analyseret med henblik på at finde betydningen af følgende variationer:

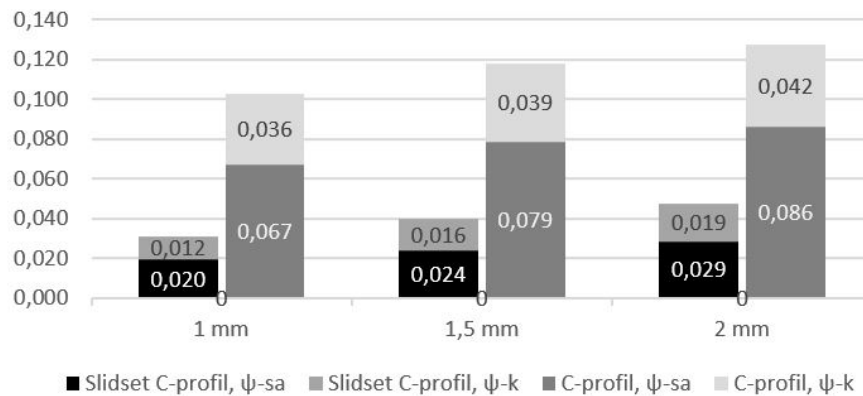
- Karmens forskydning fra isolering
- om C-profilet er slidset eller ej
- isoleringsklassen og -tykkelsen for isolering i ydervæggen

Karmens forskydning fra isolering



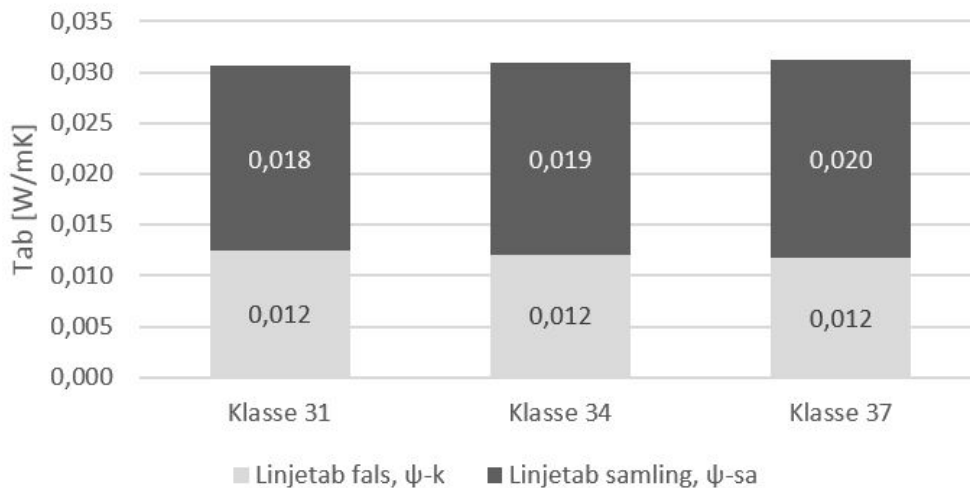
Ovenstående resultater viser, at jo mindre karmen forskydes fra den isolerende del, jo mindre er samlingstabet. Det konstruktive tab under samlingen ændres ikke i nærværende parametervariation, da udformningen af fals ikke ændres. Forskydningen kan se for at sikre at vinduet er plan med en evt. facadebeklædning.

C-profilets variationer



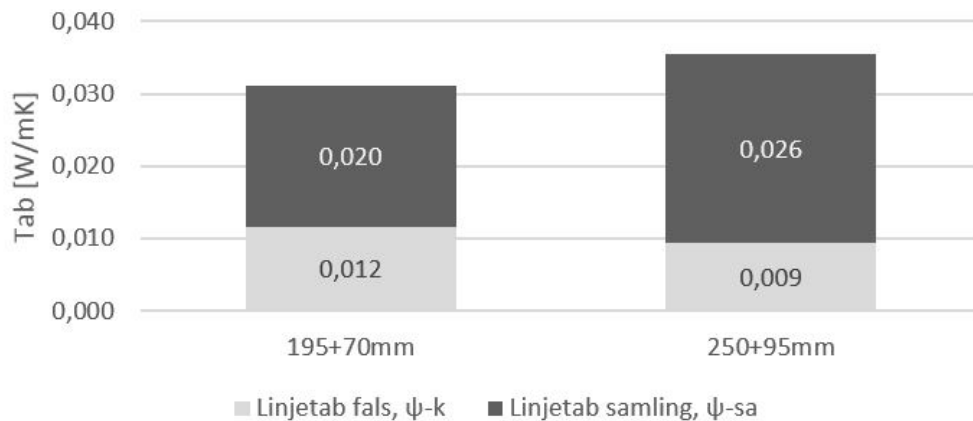
Ovenstående resultater viser, at en løsning, hvor C-profilet (som placeres som afslutning af ydervæggen op mod karmen) er slidset opnår et mindre samlingstab og konstruktivt tab. Det skyldes at C-profilet leder varmen dårligere, når det er slidset. Desuden ses det at godstykkelsen også har en betydning.

Isoleringsklasse i ydervæg



Ovenstående resultater viser, at isoleringsklassen i ydervæggen ingen betydning har.

Isoleringstykkelse i ydervæg



Ovenstående resultater viser, at isoleringstykkelsen i ydervæggen har en lille betydning. Ændringen skyldes at springet til vinduet forøges.

1.5 Træopbygning

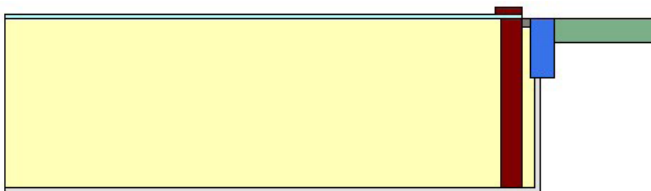
Selve den konstruktive udformning består typisk af to lag isolering placeret i et træ-skelet. Ved samling til en karm placeres typisk træregler lige under karmen, og hele løsningen indhylles i fx gips.

Skeletkonstruktioner i træ kan håndteres som simple inhomogene konstruktioner med mulighed for at dokumentere U-værdien ud fra en middelvægtet lambdaværdi (se afsnit 4).

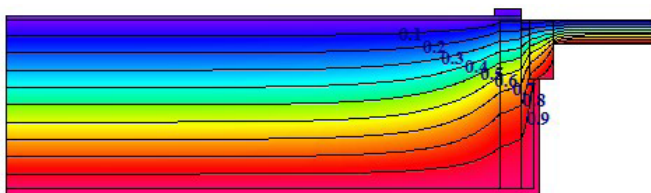
1.5.1 Referencemodel

Nedenfor illustreres referencemodellens opbygning i HEAT2, detaljetegningen af udformningen og resultatvisning fra HEAT2.

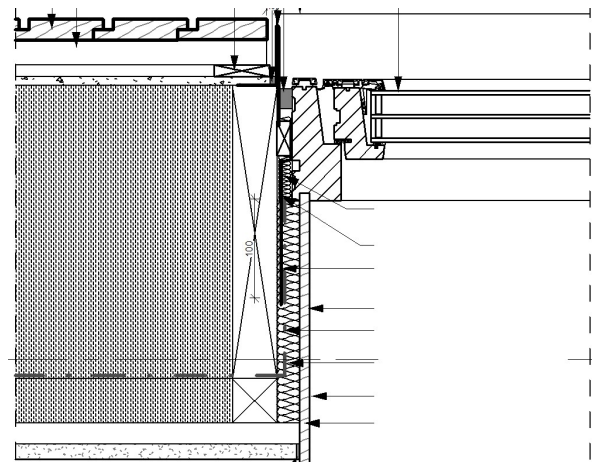
Materiale	Tykkelse [mm]	Lambda [W/mK]
Konstruktionstræ	-	0,17
Mineraluld	0,295	0,034



Forsimpling i HEAT 2, referencemodel



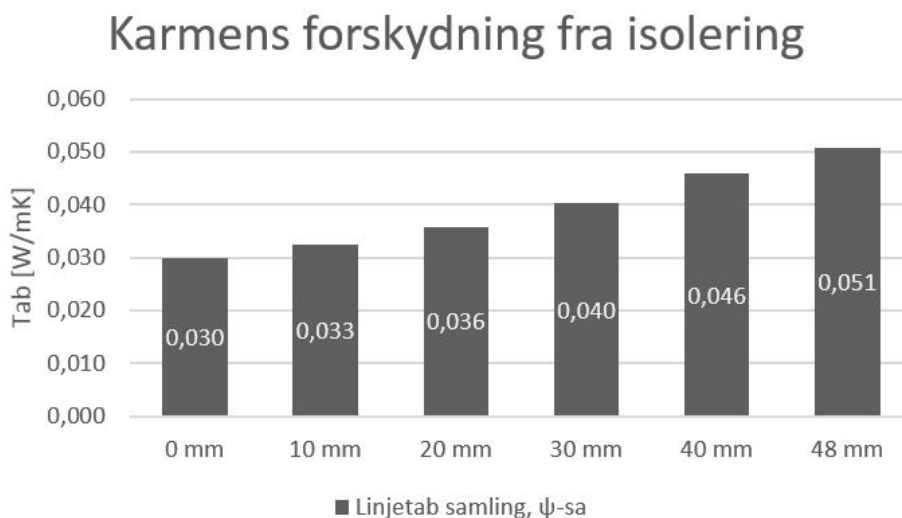
Resultat i HEAT 2, referencemodel



Detaljetegning af fals med træopbygning

1.5.2 Parametervariation og resultat

Falsen med træopbygning er analyseret med henblik på at finde betydningen af karmens placering i forhold til formuren.



Ovenstående resultater viser, at jo mindre overlap - og dermed jo mere isolering der forekommer under karmens placering, - jo mindre er samlingstabet. Det konstruktive tab er i det tilfælde 0,016 W/mK for alle variationer. Rykkes karmen længere ind mod midten af konstruktionen (< 0 mm), vil samlingstabet blive mindre. Forskydningen skyldes ofte et ønske om at vinduet flugter med facadebeklædningen.

2. Skillevægsgfundamenter

Baggrund

Med henblik på at kortlægge skillevægsgfundamenters indflydelse på klimaskærmens varmetab er der udført en række parameteranalyser, med det formål at kunne belyse og anskueliggøre hvilke forhold, der har særlig betydning.

Omfang

Der er udvalgt to typiske konstruktive løsninger for et skillevægsgfundament. En løsning med betonskaft og en med letklinkerskaft.

Metode og værktøj

Til beregning anvendes beregningsværktøjet HEAT2. I HEAT2 modelleres en forsimplet referencemodel ud fra detaljetegninger. I hver parametervariation ændres der kun på én parameter ad gangen i forhold til referencemodellen.

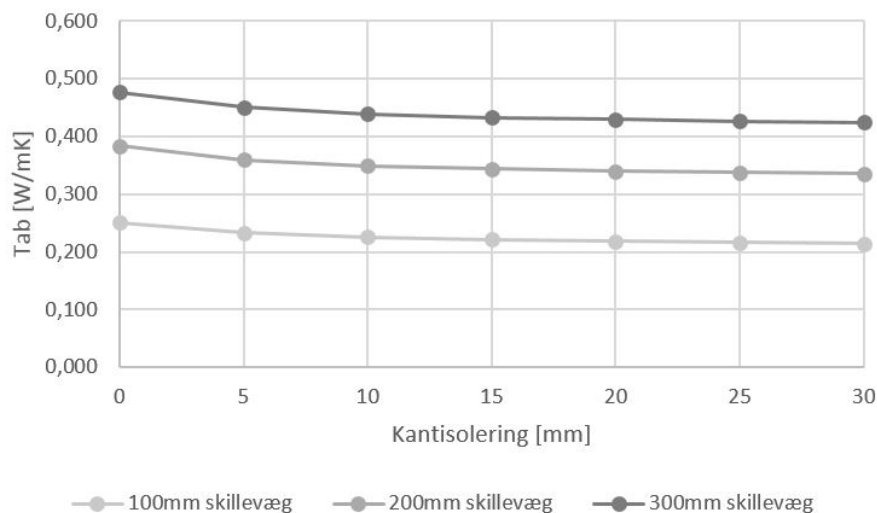
2.1 Skillevægsgfundament 1 - betonskaft

Skillevæggen placeres på betonskaft og isolering i terrændæk føres ind til skaft. Løsningen er typisk for bærende vægge i etagebyggeri.

2.1.1 Referencemodel

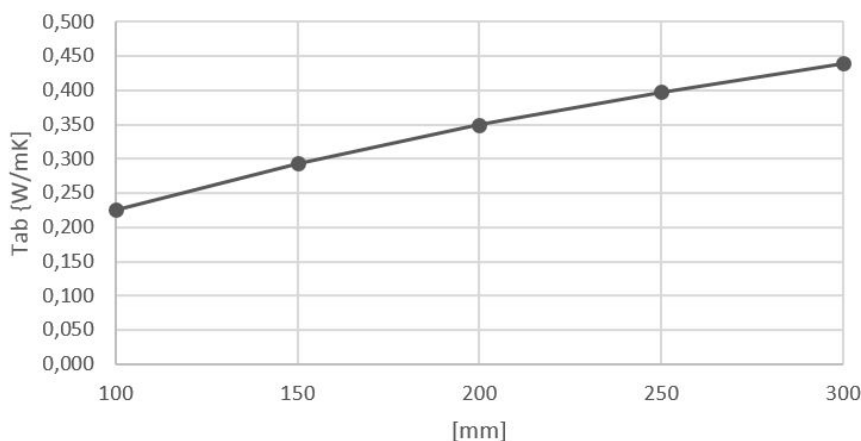
Overfor illustreres referencemodellen for skillevægsgfundamentet fra HEAT2, detaljetegningen af udformningen og resultatvisning fra HEAT2.

Kantisoleringens tykkelse



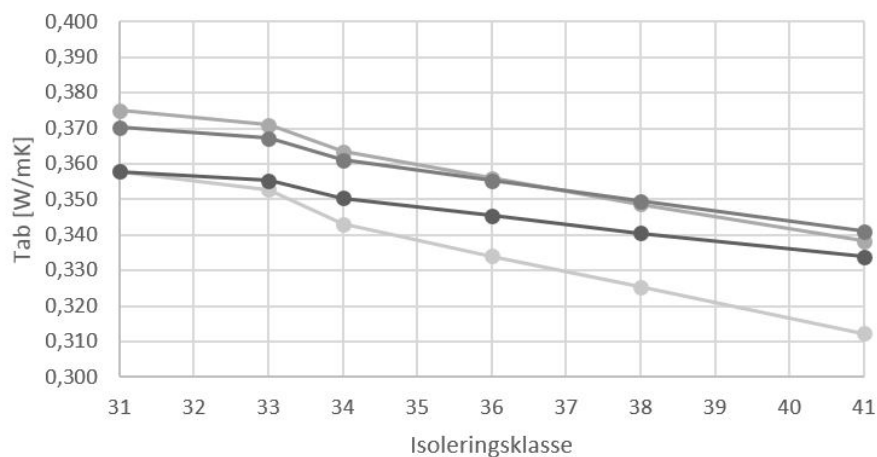
Resultaterne viser, at jo mere kantisolering jo mindre linjetab. Det skyldes at varmestrømmen fra væg/dæk-samling over i det øvrige dæk afbrydes. Tendensen er større jo tykkere skillevæg der anvendes, se mere nedenfor. I virkeligheden er det nogen gange umuligt at indføre kantisolering, da der er konstruktive forhold som gør at dæk og væg skal hænge sammen.

Skillevæggens tykkelse



Ikke overraskende viser resultaterne, at jo tykkere skillevæg er jo større bliver linjetabet.

Isoleringsklasse for isolering i terrændæk



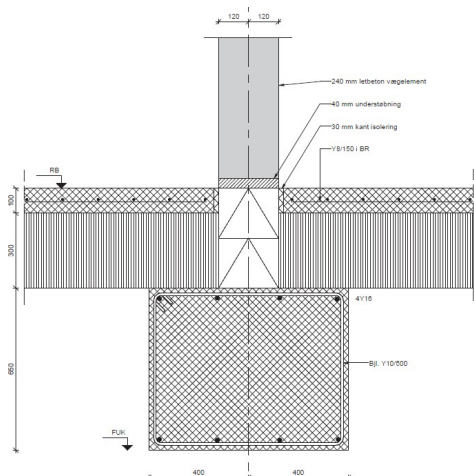
Ovenstående resultater viser, at isoleringsklassen såvel som U-værdi for terrændækket har en begrænset betydning. Der ses dog en lille reduktion i linjetabskoefficienten ved lavere U-værdier og øget isoleringsmængde.

2.2 Skillevæggsfundament 2 – Skaft i letklinker

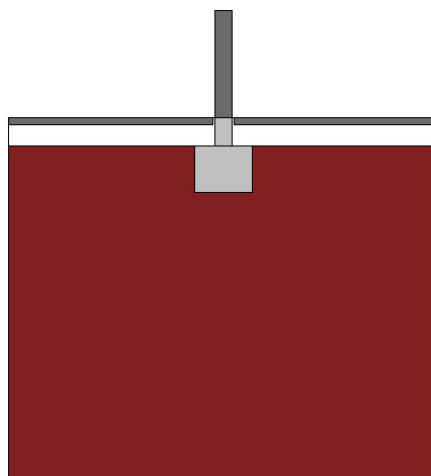
Skillevæggen placeres på skaft letklinker og isolering i terrændæk føres ind til skaft. Denne løsning kan være mulig ved knap så tunge men bærende konstruktioner.

2.2.1 Referencemodel

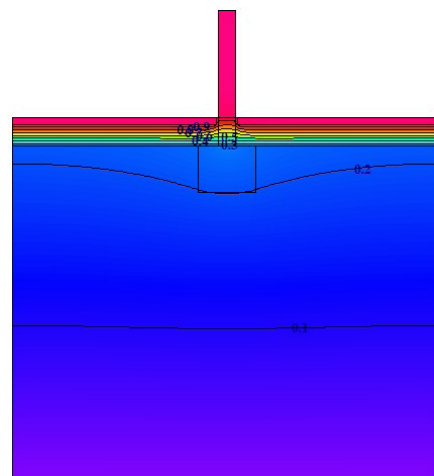
Nedenfor illustreres referencemodellen for skillevæggsfundamentet fra HEAT2, detaljetegningen af udformningen og resultatvisning fra HEAT2.



Detaljetegning af skillevæggsfundament 2



Forsimpling i HEAT 2, referencemodell



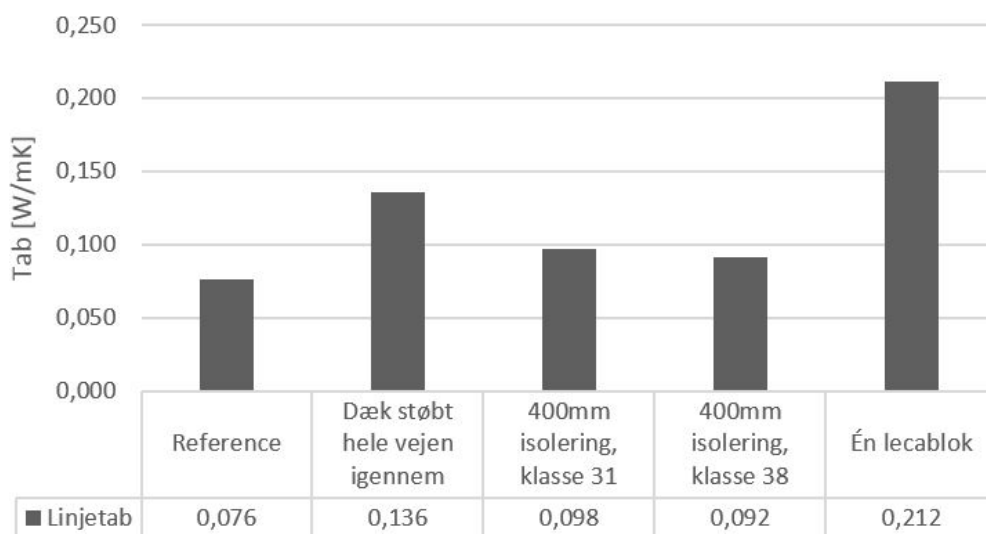
Resultat i HEAT 2, referencemodell

2.2.2 Resultater

Skillevæggsfundament 2 er varieret i forhold til referencemodellen ved at den øverste letklinkerblok fjernes, og der ved støbes terrændækket hele vejen igennem under skillevæggen. Den øverste letklinkerblok erstattes altså med beton.

Derudover er der lavet parameteranalyse på isoleringsklassen i terrændækket. Afslutningsvis er løsningen undersøgt med kun én letklinkerblok.

Skillevæggsfundament



Ovenstående resultater viser forskellige muligheder med letklinkerblokke. Opsummeret kan det konkluderes at flere letklinkerblokke er en fordel og at isoleringsklassen har en lille betydning.

Ved løsningen med én letklinkerblokke er fundamentblokken placeret højere oppe mod dækket og gennembryder dermed mere isolering under terrændæk. Denne løsning er derfor værre end løsningen med dæk støbt hele vejen igennem.

