

SKANSKA

SBUF 

ID: 12801

Undvik fel och fällor med köldbryggor

I nyproduktion



Tomas Larsson & Björn Berggren

2015-02-15

Förord

Projektet har genomförts av Tomas Larsson och Björn Berggren, båda från Skanska Teknik. Illustrationer är gjorda av Eric Werner, Tecknaren AB, om inget annat anges. Projektledare för projektet och huvudförfattare till denna skrift har Tomas Larsson varit. Projektet är samfinansierat av Skanska Sverige AB och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF). Ett stort tack riktas till referensgruppen och kollegor för ert engagemang och intressanta idéer och synpunkter.

Tack till

Emma Karlsson & Jens Åkesson, *WSP*

Helena Bülow-Hübe, *Fojab Arkitekter*

Sonja Kildishev, *Tyréns AB*

Tomas Ekström, *NCC Teknik*

FoU Syd, *Sveriges Byggindustrier*

Tomas Larsson,

Malmö, februari 2015

Innehållsförteckning

Terminologi.....	5
1 Inledning.....	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Läsanvisning.....	7
1.3 Varför hantera köldbryggor?	7
1.4 Köldbryggor – Inte bara energi	9
2 Definitioner & Teori.....	10
2.1 Vad är en köldbrygga?.....	10
2.2 Hur skall jag räkna?.....	11
2.3 Vilka mått skall jag använda?.....	15
2.4 Redovisning av beräkningar	16
3 Fel och fällor vid köldbryggeberäkningar	22
3.1 Undvik kommunikationsmissar!	22
3.2 U-värde eller köldbrygga?.....	23
3.3 Negativa köldbryggor?	23
3.4 Funktionskrav i konflikt	23
3.5 Skillnad mellan byggsystem.....	24
3.6 Olika metoder	24
3.6.1 Schabloner	25
3.6.2 Katalogvärden	25
3.6.3 Beräkningar med simuleringsprogram	26
4 Fel och fällor vid utformning av detaljer.....	30

4.1	Mellanbjälklag/Yttervägg.....	34
4.2	Inner-/Yttervägg	36
4.3	Ytterväggshörn	38
4.4	Fönsteranslutning	40
4.5	Yttervägg/Tak.....	42
4.5.1	Lätt takkonstruktion.....	42
4.5.2	Kompakttak	43
4.6	Kantbalk	44
4.7	Balkonganslutning.....	46
5	Tips & Slutsatser	48
	Referenser.....	50

Terminologi

A_{om}	Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft. [m ²]
A_{temp}	All golvarea (förutom garage) temperaturreglerad till mer än 10 °C, begränsad av klimatskalets insida. [m ²]
U -värde	Värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar. [W/m ² , K]
U_m -värde	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för alla byggnadsdelar och köldbryggor. [W/m ² , K]
UA -värde	Transmissionsförluster genom klimatskal, U_m -värdet multiplicerat med omslutningsarean, A_{om} . [W/K]
ψ	Psi, beteckning för linjära köldbryggor, även kallat specifikt värde. [W/m, K]
χ	Chi, beteckning för punktformiga köldbryggor, även kallat specifikt värde. [W/K]
L_{2D} , L_{3D}	Effektörluster genom en anslutning från en 2D-respektive 3D-beräkning. [W/m, K resp. W/K]
H_T	Total värmetransmissionsförlust genom klimatskal (inkl. tak, grund och fönster). [W/K]
i , oi , e	Förkortningar av måttdefinitionerna <i>internal</i> , <i>overall internal</i> och <i>external</i> dimensioner i SS-EN ISO 13789.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Byggnaders energianvändning hamnar ofta i fokus då deras miljöpåverkan diskuteras. Sedan oljekrisen, i början av 1970-talet, har svenska byggnader uppförts med gradvis allt bättre energiprestanda. Delvis på grund av skärpta regler i Boverkets Byggregler, BBR, men även på grund av att marknadens efterfrågan. Andelen lågenergibygnader i nyproduktion ökar stadigt. År 2012, som var ett rekordår, var 7 % av nyproducerade bostäder klassade som lågenergihus (energiprestanda på ≤ 75 % av BBR 20). Motsvarande siffra för nyproducerade kvadratmeter lokalyta var 4 % (Filipsson et al, 2013). I dessa byggnader är det vanligt med balanserad ventilation med värmeåtervinning, FTX, som sänker ventilationsförlusterna väsentligt. Detta leder till att en stor del av uppvärmningsbehovet härleds till värmeförluster genom klimatskal och köldbryggor.

Idag beräknas och betraktas köldbryggor på flera olika sätt av ingenjörer och arkitekter. Det skiljer sig bland annat avseende vad som uppfattas som en köldbrygga, hur värmeledande ytor kvantifieras och hur köldbryggor hanteras i tidiga skeden. Dessa olika uppfattningar kan leda till missvisande och felaktiga resultat. Detta kan drabba brukarna genom dålig termisk komfort, problem med styrning av inneklimat och ej uppfyllda förväntningar avseende driftsekonomi. Det kan även leda till ekonomiska konsekvenser för entreprenören, byggherren och/eller konsulten om avtalad energiprestanda ej uppnås.

Syftet med denna skrift är att ge en vägledning för ingenjörer, arkitekter och andra yrkesgrupper, som i sitt arbete kan påverka en byggnads energiprestanda i samband med utformning av byggnader.

1.2 Läsanvisning

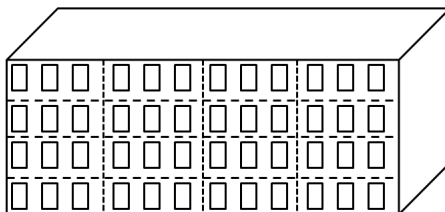
I detta första kapitel ges en introduktion kring köldbryggor och varför de är viktiga att ta hänsyn till. Därefter, i kapitel två, ges en genomgång i definitioner och hur köldbryggor beräknas. I kapitel tre ges exempel på fel och fallor som behöver uppmärksammas i och med beräkningar. I kapitel fyra redovisas diskussionspunkter för framtagning av några vanliga anslutningsdetaljer i byggnader samt hur valet av byggsystem påverkar andelen köldbryggor diskuteras. Avslutningsvis, i kapitel fem, sammanfattas viktiga slutsatser som är bra att tänka på i arbetet med köldbryggor.

1.3 Varför hantera köldbryggor?

I en byggnad där man i projekteringen negligerat eller hanterat köldbryggor bristfälligt kan köldbryggorna svara för en betydande del av den totala värmetransmissionsförlusten. I ett välisolerat lågenergihus är värmetransmissionsförlusterna låga genom byggnadens byggnadsdelar. Köldbryggorna kan då ha en direkt avgörande roll i om kraven uppfylls eller ej. Dessutom medför olika byggsystem, d.v.s. olika metoder och uppbyggnader av klimatskal olika typer av anslutningar, vilket kan resultera i stora variationer avseende köldbryggors storlek. Därutöver påverkar ökade värmeflöden genom köldbryggor vår miljö genom ökade utsläpp av växthusgaser.

Exempel 1 - Miljöpåverkan

För att illustrera hur en köldbrygga kan påverka miljön i form av CO₂-utsläpp räknas ett exempel fram för en referensbyggnad. Vi tittar



närmare på den köldbrygga som uppstår vid montage av fönster i vägg. Vi kallar denna för fönsterköldbryggan.

- 4 våningar högt lamellhus i Göteborg (9 x 30 m).
- Fönsterarea 15 % av A_{temp} . Varje fönster 1 x 1,5 m.
- Total karmlängd 540 meter.
- ψ -värde = 0,15 W/m, K.
- 100 000 gradtimmar per år i Göteborg.

Total effektförlust genom fönsterköldbryggan blir 81 W/K. Detta motsvarar 8100 kWh/år, eller 810 kg CO₂ på ett år, om fjärrvärme genererar 100 g CO₂/kWh. 810 kg koldioxid motsvarar t.ex. 18 resor med bil mellan Göteborg och Stockholm eller 810 000 resor med tåg samma sträcka!

Utgår vi från ett energipris om 0,75 kr/kWh, en ekonomisk livslängd om 50 år, årlig inflation 2 % och årlig energiprisökning om 1 % så motsvarar detta drygt 240 000 kr i dagens penningvärde.

1.4 Köldbryggor – Inte bara energi

Köldbryggor kan, förutom att ge ökade transmissionsförluster, ge andra effekter. Bieffekter av köldbryggor kan vara lokalt låga ytemperaturer som kan leda till kondensation av fukt ur inomhusluft, vilket i utsatta fall kan leda till fuktskador. Låga ytemperaturer kan även innebära komfortproblem, lokal nedsmutsning och problem med styrning av inneklimatet.



Figur 1 - Nedsmutsning av putsad fasad, en potentiellt negativ effekt av köldbryggor. Foto: Sonja Kildishev, Tyréns AB.

2 Definitioner & Teori

2.1 Vad är en köldbrygga?

En köldbrygga kan definieras som del av klimatskal som har lokalt avvikande värmeledning och som inte ingår i dess U-värde. Med andra ord behöver köldbryggevärdet läggas till energiberäkningen för att beakta alla tillkomna eller minskade energiflöden som inte U-värdet inkluderar. Detta gäller både vid simuleringar av byggnaders förväntade energiprestanda samt dimensionering av värmesystem. Enligt SS-EN ISO 10211 definieras en köldbrygga utifrån att det är en del av klimatskal där värmemotståndet förändras (signifikant) på grund av något av följande:

1. Ett material med ett högre värmeledningstal bryter ett skikt av ett material med ett lägre värmeledningstal, t.ex. en bjälklagsanslutning i en utfackningsvägg.
2. Utvändig yta är större eller mindre än invändig yta, t.ex. ytter- eller innerhörn.
3. Tjocklek på material ändras.

Köldbryggor delas upp i linjära (ψ , psi) och punktformiga (χ , chi). En linjär köldbrygga definieras av ett homogent värme flöde per längdenhet, t.ex. anslutningen av mellanbjälklag till yttervägg. En punktformig köldbrygga förekommer punktvis i en byggnad, t.ex. vid genomgående infästningar, se exempel i Figur 2.



Figur 2 – Ett exempel på punktformiga köldbryggor i form av infästningar på ett tak. Foto: Ingemar Samuelson, SP.

2.2 Hur skall jag räkna?

Boverkets Byggregler, BBR, ställer krav på byggnaders genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m . Enligt BBR beräknas U_m med Ekvation 1 nedan.

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} U_i * A_i + \sum_{j=1}^{N_j} \psi_j * l_j + \sum_{k=1}^{N_k} \chi_k}{A_{om}} \quad (\text{Ekv. 1})$$

Där

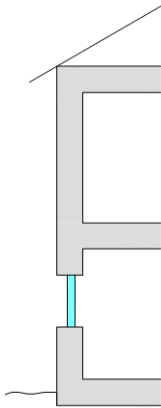
- U_i värmegenomgångskoefficient för en 1D-byggnadsdel, i [$\text{W}/\text{m}^2, \text{K}$]
- A_i area där U_i gäller [m^2]
- ψ_j värmegenomgångskoefficient för den linjära köldbryggan j [$\text{W}/\text{m}, \text{K}$]
- l_j längd där ψ_j gäller [m]

χ_k	värmeledningskoefficient för den punktformiga köldbryggan k [W/K]
A_{om}	sammanlagd area för omslutande byggnadsdelar $\sum_{i=1}^{N_i} A_i$ [m ²]

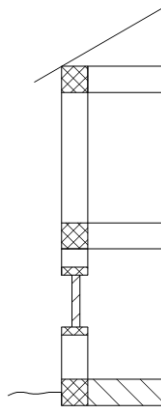
Täljaren i Ekvation 1 innehåller termerna som utgör den totala transmissionsförlusten, H_T . I H_T ingår transmission genom byggnadsdelar mot luft och mark, genom fönster samt köldbryggor. Genom att dividera H_T med den omslutande arean A_{om} , dvs. den sammanlagda arean i klimatskalet (inkl. ytterväggar, tak, grund och fönster), erhålls den genomsnittliga värmeledningskoefficienten, U_m .

Värmeledningskoefficienterna i Ekvation 1 beräknas enligt standarden SS-EN ISO 13789. Denna standard hänvisar i sin tur vidare flera andra standarder som gäller för beräkning av olika typer av värmeledningskoefficienter. Figur 3 nedan visar de huvudsakliga standarder som vanligtvis används.

"Verkligheten"



Tillämpning



- U-värde mot luft SS EN ISO 6946
- Potentiella köldbryggor SS EN ISO 10211
- Fönster SS EN ISO 10077
- U-värde mot mark SS-EN ISO 13370

Figur 3 - Standarder att använda för beräkning av värmeövergångskoefficienter för olika byggnadsdelar. Figur från Berggren & Wall (2011).

Linjära och punktformiga köldbryggor beräknas enligt SS-EN ISO 10211 med Ekvation 2 och Ekvation 3.

Linjära köldbryggor

Den linjära köldbryggan ψ beräknas genom att modellera aktuell konstruktion i ett numeriskt beräkningsprogram. Genom att dra bort det 1-dimensionella flödet genom omgivande byggnadsdelar från den totala effektförlusten i konstruktionen, L_{2D} , erhålls ψ som differensen däremellan.

$$\psi = L_{2D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i * l_i \quad (\text{Ekv. 2})$$

Där

L_{2D} effektförlust genom anslutning från en 2D-beräkning [W/m, K]

U_i värmegenomgångskoefficient för en 1D-byggnadsdel, i [W/m², K]

l_i längd där U_i gäller [m]

Punktformiga köldbryggor

Den punktformiga köldbryggan χ beräknas i stort på samma sätt som den linjära köldbryggan ψ . Dock dras även summan av effektförlusten för de linjära köldbryggorna bort från den totala effektförlusten, L_{3D} .

$$\chi = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i * A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \psi_j * l_j \quad (\text{Ekv. 3})$$

Där

L_{3D} effektförlust genom anslutning från en 3D-beräkning [W/K]

U_i värmegenomgångskoefficient för en 1D-byggnadsdel, i [W/m², K]

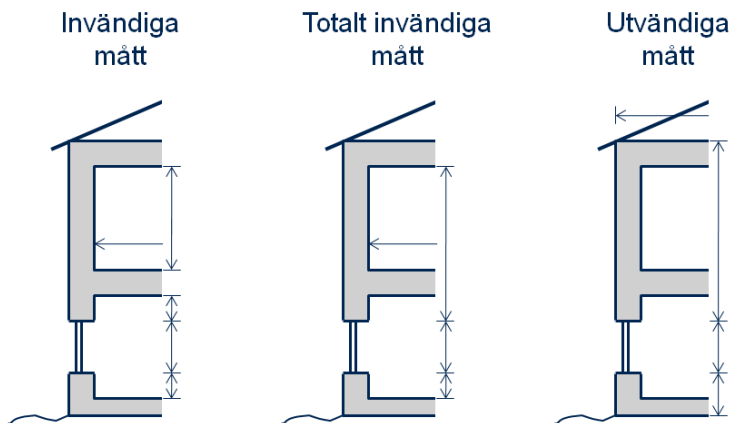
A_i area där U_i gäller [m²]

ψ_j värmegenomgångskoefficient för den linjära köldbryggan j [W/m, K]

l_j längd där ψ_j gäller [m]

2.3 Vilka mått skall jag använda?

Enligt standarden SS-EN ISO 13789 finns det tre sätt att beräkna mått på; *invändiga (i)*, *totalt invändiga (oi)* eller *utvändiga mått (e)*. Skillnaden dem emellan framgår av Figur 4.



Figur 4 - Tre sätt att beräkna mått på enligt SS-EN ISO 13789; invändig (i), totalt invändig (oi) och utvändiga (e) dimension. Figur från Berggren & Wall (2011).

När definitionen *invändiga mått* används ingår inte tjocklek för mellanbjälklag och innerväggar, som ansluter till ytterväggen, i kvantifieringen. När *totalt invändiga mått* används inkluderas tjocklek för mellanbjälklag och innerväggar. När *utvändiga mått* används räknas hela byggnadens längder med, inklusive mellanbjälklag och innerväggar, utifrån sett.

Det står inte föreskrivet i BBR vilken av dessa definitioner som skall användas vid kvantifiering, utan det beror på utföraren och sammanhanget. Hur längder och ytor

kvantifieras är direkt avgörande för hur stora köldbryggornas specifika värden blir och hur de påverkar den totala värmetransmissionsförlusten. Med andra ord kan exakt samma köldbrygga ha olika värde beroende på vald måttdefinition.

Vid energiberäkning är det viktigt att välja ett sätt att definiera längder och därmed ytor på och sedan följa denna definition konsekvent genom hela beräkningen, även vid kvantifiering av köldbryggor. En sak som ofta missas är att olika måttdefinitioner används för en köldbrygga och omslutande area, A_{om} . Detta ger då ett felaktigt U_m -värde som följd.

Observera att svensk standard för bestämning av täthet av byggnads klimatskal, SS-EN ISO 13829, baseras på totalt invändiga mått (oi). Det kan därför vara lämpligt att basera sin kvantifiering vid modellering på detta.

2.4 Redovisning av beräkningar

Vid redovisning av köldbryggeberäkningar bör minst nedanstående ingå.

Redovisning av indata:

- Beskrivning av var, i den aktuella byggnaden, som den studerade delen finns lokaliserad. Detta kan ske dels genom markering på ritning (planritning eller sektionsritning). Alternativt med hänvisning till detaljritning.
- Ritning eller skiss av den studerade delen. Skala eller måttsättning redovisas.
- Ingående material och dess värmekonduktivitet.

- Randvillkor: Ansatta temperaturer och värmeövergångsmotstånd för olika ytor.
- Justeringar eller förenklingar av beräkningsmodellen som gjorts i förhållande till det verkliga fallet.
- Ekvation som används för beräkning av köldbrygga.
- Tillhörande beräkningsfils/-filers namn.

Redovisning av utdata:

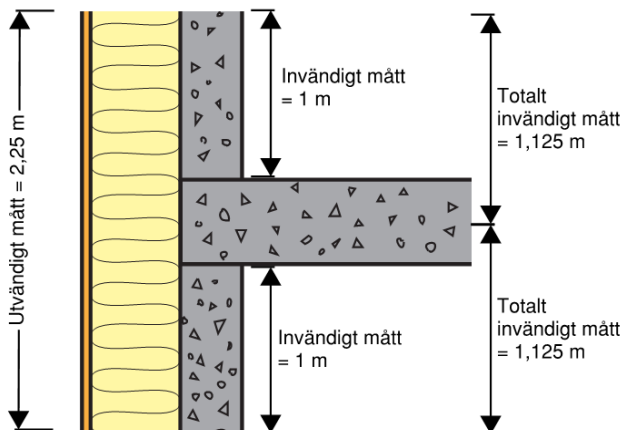
- Total effektförlust för den studerade delen.
- Värmegenomgångskoefficient för byggdelar som ingår i den studerade delen. Alternativt även för linjära köldbryggor om punktformig köldbrygga studeras.
- Vilken måttdefinition som använts för att kvantifiera ingående byggdelar samt dess värde.

För fullständigat underlag avseende krav på redovisning se SS-EN ISO 10211:2007 som anger krav på redovisning.

Exempel 2 - Olika måttdefinitioner

Detta exempel visar på hur valet av måttdefinition kan påverka en köldbryggas specifika värde. Köldbryggan i två anslutningar beräknas; en anslutning vid mellanbjälklag och yttervägg och ett ytterväggshörn.

Mellanbjälklagsanslutningen



Figur 5 - En mellanbjälklagsanslutning måttsatt enligt de tre måttdefinitionerna. Väggs U-värde är 0,177 W/m², K.

Längder enligt måttdefinitionerna i mellanbjälklagsanslutningen redovisas i Tabell 1.

Tabell 1 - Längder i mellanbjälklagsanslutningen.

Måttdefinition	[m]
Invändig (i)	2,000
Totalt invändig (oi)	2,250
Utvändig (e)	2,250

Genom att modellera konstruktionen i HEAT2 8.03 (ett numeriskt beräkningsprogram) erhålls effektförlusten genom anslutningen:

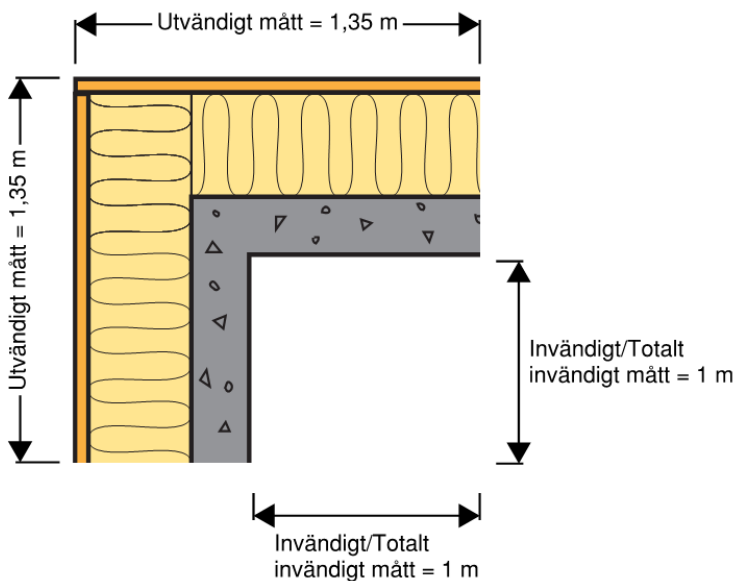
$$L_{2D} = 0,399 \text{ W/m, K}$$

När effektförlust i konstruktionen, U-värde och dimensioner är kända kan kölbryggans specifika värde beräknas enligt Ekvation 2.

$$\psi_i = 0,399 - 0,177 * 2,00 = 0,045 \text{ W/m, K}$$

$$\psi_{oi} = \psi_e = 0,399 - 0,177 * 2,25 = 0,001 \text{ W/m, K}$$

Ytterhörnet



Figur 6 - Ett ytterhörn måttsatt enligt de tre måttdefinitionerna. Väggens U-värde är $0,177 \text{ W/m}^2, \text{ K}$.

Längder enligt måttdefinitionerna i ytterväggsanslutningen redovisas i Tabell 2.

Tabell 2 - Längder i ytterväggshörnanslutningen.

Måttdefinition	[m]
<i>Invändig (i)</i>	2,000
<i>Totalt invändig (oi)</i>	2,000
<i>Utvändig (e)</i>	2,700

Genom att modellera konstruktionen i HEAT2 8.03 erhålls effektförlusten genom anslutningen:

$$L_{2D} = 0,422 \text{ W/m, K}$$

När effektförlust i konstruktionen, U-värde och dimensioner är kända kan kölbryggans specifika värde beräknas enligt Ekvation 2.

$$\psi_i = \psi_{oi} = 0,422 - 0,177 * 2,00 = 0,068 \text{ W/m, K}$$

$$\psi_e = 0,422 - 0,177 * 2,70 = -0,056 \text{ W/m, K}$$

Dessa räkneexempel av köldbryggornas specifika värden visar tydligt på skillnaden mellan de olika måttdefinitionerna. Köldbryggans värde är direkt beroende av sättet längder kvantifieras på.

3 Fel och fällor vid köldbryggeberäkningar

3.1 Undvik kommunikationsmissar!

Tydlighet i redovisningen behövs! Hur beräknades ψ -värdet och vilka dimensioner användes?

Ett scenario kan vara att arkitekten blir ombedd att leverera kvantiteter av byggnadsdelar och anslutningar och en konstruktör beräknar U-värden och specifika värden för köldbryggor. Slutligen utför en installationsprojektör eller en energisamordnare själva energiberäkningen. Det är lätt att det sker missförstånd som i slutändan kan drabba brukaren eller förvaltaren. Genom att använda indexering enligt Tabell 3 vid redovisning av ψ - och χ -värden eller längder och ytor, minskas risken för följd- och kommunikationsfel.

Tabell 3 - Index att använda för att beskriva vald mätmetod.

Index	Betydelse
<i>i</i>	Internal = invändiga mått
<i>oi</i>	Overall internal = totalt invändiga mått
<i>e</i>	External = utvändiga mått



3.2 U-värde eller köldbrygga?

I ett U-värde skall alla återkommande komponenter, t.ex. stående reglar i en utfackningsvägg eller armeringsstegar i en sandwichvägg, inkluderas. Komponenter som inte ingår i U-värdet skall tas med som köldbryggor. Även de extra reglar som tillkommer p.g.a. syll och hammarband kan räknas in i U-värdet men då får dessa inte beräknas som köldbryggor. Det är viktigt att veta vad som ingår i byggnadsdelars U-värden. När U-värden levereras tillsammans med färdiga element, t.ex. sandwichelement, är det bra att ställa frågan om vad som ingår i U-värdet till leverantören. Här är det även viktigt att tänka på gränsdragningen mellan leverantör och projekt, vem beräknar köldbryggan i elementskarven?

3.3 Negativa köldbryggor?

Att ett köldbryggevärde beräknas till ett negativt värde behöver inte betyda att beräkningen är fel. Detta kan bero på vilken måttdefinition som används. Vid anslutningar där invändiga och utvändiga mått skiljer sig åt; blir ofta köldbryggan negativ om den längre ytan/längden används för att kvantifiera areor. Exempelvis vid ytterhörn.

3.4 Funktionskrav i konflikt

Det är inte ovanligt att olika styrande funktionskrav, ofta energi, fukt och brand, kräver lösningar som är motsägande. Alla krav skall likvärdigt beaktas. Därför kan en detalj inte optimeras enbart för att minska köldbryggan om lösningen innebär att det blir en riskkonstruktion ur t.ex. fuktsynpunkt.

3.5 Skillnad mellan byggsystem

En köldbryggas specifika värde kan variera kraftigt mellan olika byggsystem. Generellt är väggkonstruktioner med yttre obrutna isoleringslager, t.ex. en betongvägg med utanpåliggande isolering, bra ur köldbryggesynpunkt medan en inhomogen väggkonstruktion, t.ex. en regel- eller sandwichvägg, är betydligt sämre. Se även Exempel 3 på sidan 27.

3.6 Olika metoder

Det finns olika metoder för att ta hänsyn till köldbryggor.

Vanliga metoder är:

- Schablonpåslag, vanligtvis ett procentpåslag på UA-värdet.
- Katalogvärden för olika typer av köldbryggor och konstruktioner.
- Projektspecifika beräkningar med simuleringsprogram.

Beroende av ett projekts energiambitioner och i vilket skede det befinner sig i kan styra valet av metod. I Tabell 4 nedan ges exempel på hur olika metoder kan vara lämpliga i olika fall.

Tabell 4 - Exempel på olika metodval beroende på energiambition och skede i ett projekt. Med avstämda värden menas att katalog- och beräknade värden följs upp mot projekterade detaljer.

Energi-ambition	Tidigt skede	System-handling	Bygg-handling
<i>BBR</i>	Schablon-/katalogvärden	Katalogvärden	Avstämda katalogvärden
<i>75 % av BBR</i>	Avstämda katalog-/beräknade värden	Beräknade värden	Avstämda beräknade värden
<i>50 % av BBR</i>	Beräknade värden	Avstämda beräknade värden	Avstämda beräknade värden

3.6.1 Schabloner

Schablonpåslag på UA-värdet kan vara en hjälp i tidiga skeden av projekt då byggsystem ännu ej är beslutat. Schabloner kan dock vara missvisande då de inte tar hänsyn till byggsystem och isolertjocklek. Andelen köldbryggor kan skilja sig stort i olika byggsystem och byggnadsutformning. I lågenergihus med tjocka regelväggar kan köldbryggor ha en betydligt större andel av den totala värmetransmissionsförlusten än vad schablonpåslaget antyder. Se även Exempel 3 på sidan 27.

3.6.2 Katalogvärden

Att använda sig av katalogvärden för köldbryggor i vanliga konstruktionsdetaljer är generellt ett säkrare sätt att beakta köldbryggor på än att använda ett schablonpåslag. Dock finns samma problematik med katalogvärden som med schabloner,

det är inte alltid säkert att hänsyn tas till byggsystem och isolertjocklek. Använda katalogvärden ska stämmas av mot projekterade detaljer senare i projektet.

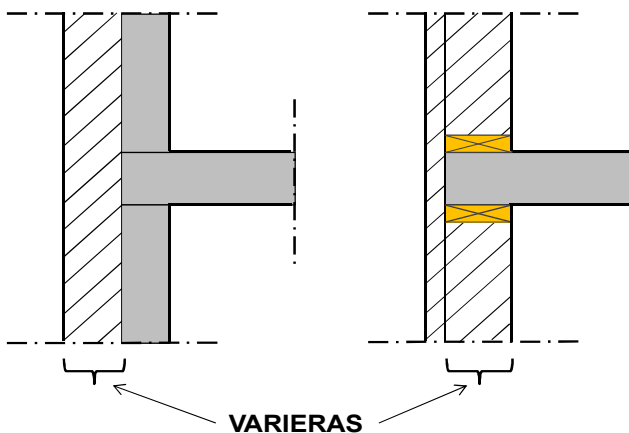
3.6.3 Beräkningar med simuleringsprogram

Man måste ha en kritisk syn på utdata från simuleringsprogram. Det blir aldrig bättre kvalitet på utdatan än indatan, så var noggrann när rand- och begynnelsevillkor och liknande sätts. Vissa programvaror identifierar också ytor och längder själva. Det är viktigt att du vet vilken definition (i , oi eller e) som de baserar detta på. Beräknade värden ska stämmas av mot projekterade detaljer senare i projektet.

Exempel 3 - Olika byggsystem

I exemplet nedan illustreras hur valet av byggsystem påverkar värmetransmissionsförlusterna och även osäkerheten i att använda sig av schablonpåslag (Berggren & Wall, 2012).

Exemplet utgår från mellanbjälklagsanslutningen i Figur 7. I alternativ 1 ansluter ett 250 mm tjockt betongbjälklag till en 120 mm tjock betongvägg. I alternativ 2 ansluter samma bjälklag till en utfackningsvägg. I betongstommen varierar isolertjockleken mellan 100 mm och 300 mm i fem steg om 50 mm. För regelstommen sätts 45 mm utvändigt isolering. Därefter väljs regeldimensioner och isolertjocklek efter standarddimensioner för att uppnå ett U-värde motsvarande betongstommen. Studerade tjocklekar och U-värden presenteras i Tabell 5.



Figur 7 - Alternativ 1 och 2. Figur från Berggren & Wall (2012).

Tabell 5 - Isolertjocklek och U-värde för de båda konstruktionerna. Alternativ 1 med betongstomme med utanpåliggande isolering och Alternativ 2 med utfackningsvägg.

		<i>Steg</i>				
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Betongstomme	Isolering [mm]	100	150	200	250	300
	U-värde [W/m ² K]	0,35	0,24	0,18	0,15	0,12
Regelstomme	Isolering [mm]	45+70	45+120	45+170	45+220	45+290
	U-värde [W/m ² K]	0,32	0,24	0,19	0,15	0,12

I Tabell 6 nedan redovisas ψ -värden för de olika alternativen. De har beräknats med invändiga mått.

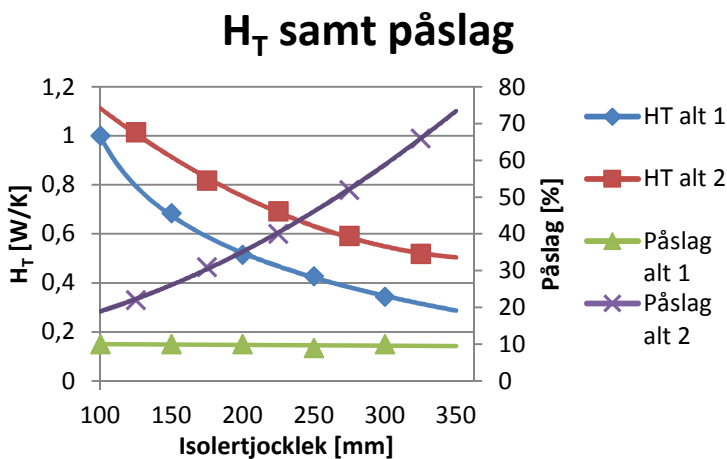
Tabell 6 - Resultat från köldbryggeberäkningarna, invändiga mått.

		<i>Steg</i>				
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
ψ_i [W/m,K]	Betongstomme	0,090	0,060	0,047	0,037	0,032
	Regelstomme	0,182	0,194	0,198	0,202	0,206

I Figur 8 nedan redovisas summerad värmetransmissionsförlust, H_T , för 2,6 m hög vägg och ψ_i -värden enligt Tabell 7. I Figur 8 visas även det procentuella påslaget på väggens U-värde som skulle behövas för att motsvara den faktiska köldbryggan.

Behovet av påslag i regelstommen går från drygt 20 % i en dåligt isolerad vägg till över 60 % i en välisolerad konstruktion. Påslaget i betongstommen stannar på runt 10 % oavsett isoleringsmängd. Dessutom framgår det ur Figur 8 att

H_T för steg 5 (335 mm isolering) i regelstommen motsvarar steg 2 (200 mm isolering) i betongstommen. Detta motsvarar en procentuell skillnad i isolertjocklek på över 50 %, vilket kan vara en viktig aspekt vid val av byggsystem.



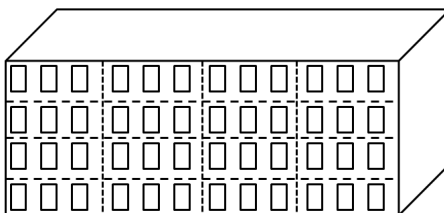
Figur 8 – Värmetransmissionen, H_T , för de olika stegen samt erforderligt procentuellt påslag på väggens U-värde för att motsvara köldbryggan.

4 Fel och fällor vid utformning av detaljer

Hur stora eller små köldbryggor blir avgörs ofta vid en detaljprojektering. Detta kapitel tar upp vägledande diskussionspunkter som kan vara ett stöd vid framtagning av några av de vanligaste anslutningsdetaljerna för att uppnå en god energiprestanda avseende köldbryggor. Även byggsystemets påverkan på köldbryggor och hur de fördelar sig illustreras i ett räkneexempel.

Exempel 4 – Fördelning av köldbryggor

För att återigen illustrera skillnaden mellan olika byggsystem och även fördelning av vanliga köldbryggor modelleras referensbyggnaden i Exempel 1:



- 4 våningar högt lamellhus (9 x 30 m).
- Rumshöjd 2,5 m.
- Mellanbjälklagshöjd 0,3 m.
- Tjocklek bärande innerväggar 0,2 m.
- 3 m balkong per lägenhet (inga balkonger på nedersta våningen).

Samtliga mått är totalt invändiga mått (oi). Tre olika byggsystem modelleras; sandwichväggar (Sw), betongväggar med utanpåliggande isolering (Btg) och utfackningsväggar (Utf). I Tabell 7 redovisas resten av förutsättningarna i referensbyggnaden. ψ -värden är beräknade med HEAT2 8.03.

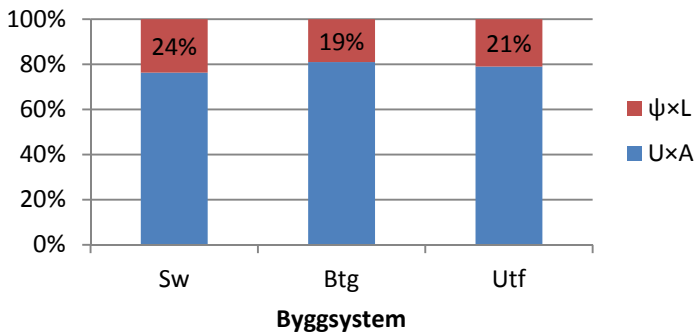
Tabell 7 - Indata till energiberäkning för referensbyggnaden. Samtliga mått är totalt invändiga mått, oi.

Byggdelen	Mängd	Enhet	U [W/m ² K]
<i>Yttervägg</i>	606	m ²	0,18
<i>Fönster</i>	162	m ²	1,2
<i>Tak</i>	270	m ²	0,12
<i>Grund</i>	270	m ²	0,17

Köldbryggor	Mängd	Enhet	ψ_{oi} [W/mK]		
			Sw	Btg	Utf
<i>Mellanbjälklag</i>	234	m	0,022	0,001	0,025
<i>Ytterväggshörn</i>	40	m	0,064	0,056	0,056
<i>Yttervägg/Tak</i>	78	m	0,103	0,125	0,119
<i>Inner-/yttervägg</i>	60	m	0,003	0,000	0,082
<i>Kantbalk</i>	78	m	0,282	0,246	0,234
<i>Fönsteranslutning</i>	540	m	0,116	0,108	0,079
<i>Balkonginfästning</i>	36	m	0,500	0,500	0,500

Resultatet i form av andel köldbryggor av den totala transmissionsförlusten, H_T , redovisas i Figur 9. Från figuren kan utläsas att köldbryggor har störst inverkan i exemplet byggsystem med sandwichytterväggar (24 % av H_T i referensbyggnaden) följt av utfackningsväggar (21 % av H_T i referensbyggnaden). Byggsystem med betongväggar med utanpåliggande isolering är det minst känsliga byggsystemet avseende köldbryggor (19 % av H_T i referensbyggnaden). Det finns även andra studier som visar på liknande fördelning av H_T mellan byggsystemen (Berggren & Wall, 2013).

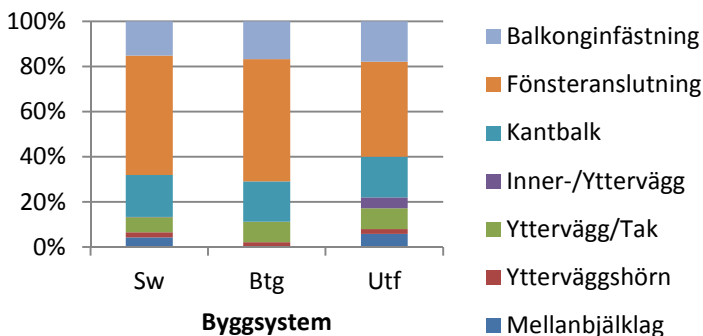
Andel köldbryggor av H_T



Figur 9 - Andel köldbryggor av den totala transmissionsförlusten, H_T , i de olika byggsystemen i referensbyggnaden.

Fördelningen av köldbryggorna i de olika byggsystemen redovisas i Figur 10.

Fördelning köldbryggor



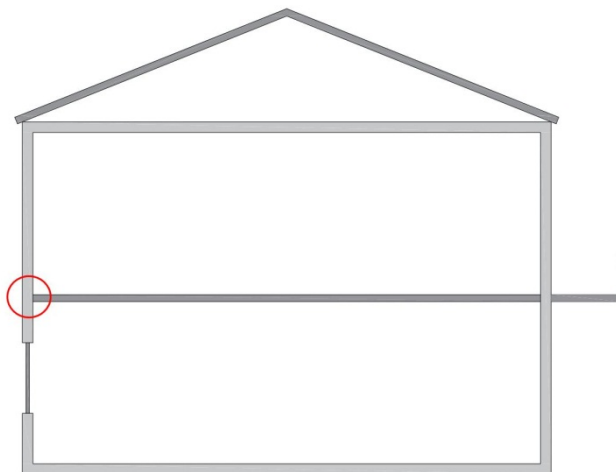
Figur 10 - Fördelning av köldbryggorna i de olika byggsystemen i referensbyggnaden.

Fördelningen ser något annorlunda ut i mindre byggnader, där de nominellt stora köldbryggorna (tak- och kantbalkanslutningen), blir mer betydande.

Generellt är påverkan från köldbryggor stor i byggsystem med utfackningsvägg med trä- eller stålregelstomme, samt i byggsystem med sandwichelement (betongens höga värmekonduktivitet). Betong med utanpåliggande isolering påverkas i lägre grad av köldbryggor tack vare den obrutna isoleringen. Genom att studera fördelningen av köldbryggorna i ett specifikt projekt ges en vägledning i vilka anslutningar som kan vara mest kostnadseffektiva att jobba vidare med.

Resterande del av detta kapitel, *4 Fel och fällor vid utformning av detaljer*, tar upp förslag till punkter att diskutera vid en detaljprojektering av vanligt förekommande anslutningsdetaljer med syftet att uppnå lösningar med en lägre påverkan av köldbryggor. Precis som det står i avsnitt *3.4 Funktionskrav i konflikt* måste alla funktionskrav beaktas i en detaljprojektering. Nästföljande punkter ska därför vägas tillsammans med frågor som även rör andra funktionskrav än energi. Genom att ta upp frågorna till diskussion tidigt i projekteringsprocessen ökar möjligheterna till kvalitetssäkrade och funktionella lösningar.

4.1 Mellanbjälklag/Yttervägg



Omfattningen av denna köldbrygga kan bli stor i byggnader med flera våningar. I småhus med träbjälklag är inverkan av köldbryggan oftast mindre.

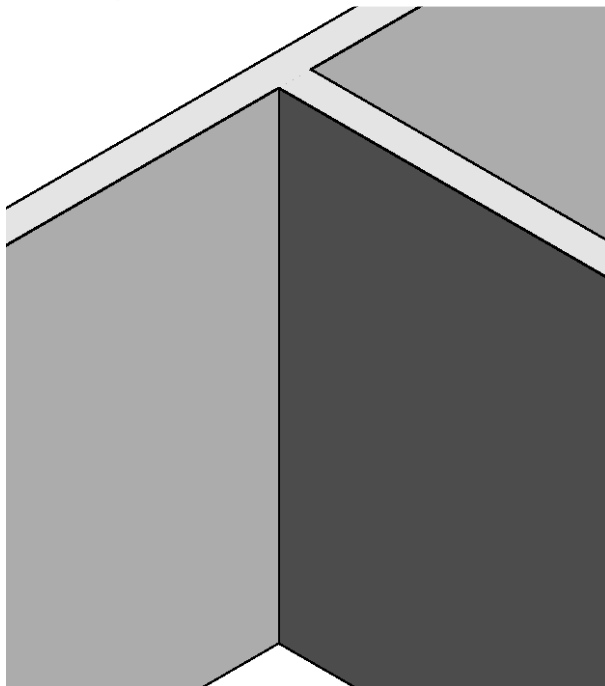
Så länge mellanbjälklaget ansluter i ytterväggen utan att bryta in i isolerskiktet, och påverkar tjockleken av detta, är denna köldbrygga begränsad.

Diskussionspunkter vid projektering:

- Tillåt bjälklaget ”bryta in” i ytterväggen så lite som möjligt.
- Använd högpresterande isolering på bjälklagskant (t.ex. PIR).
- Lägg till ett kontinuerligt isolerskikt utvändigt.

- Använd slitsade stålreglar (gäller utfackningsvägg med stålregelstomme).
- Öka det mellanliggande isolerskiktet (gäller sandwichelement).
- Undvik/minimera materialförstärkningar vid skarvar. Obs! Fukt i elementet måste hanteras (gäller sandwichelement).
- Minska bjälklagshöjden alternativt byt till träbjälklag som har mindre påverkan än betongbjälklag.

4.2 Inner-/Yttervägg



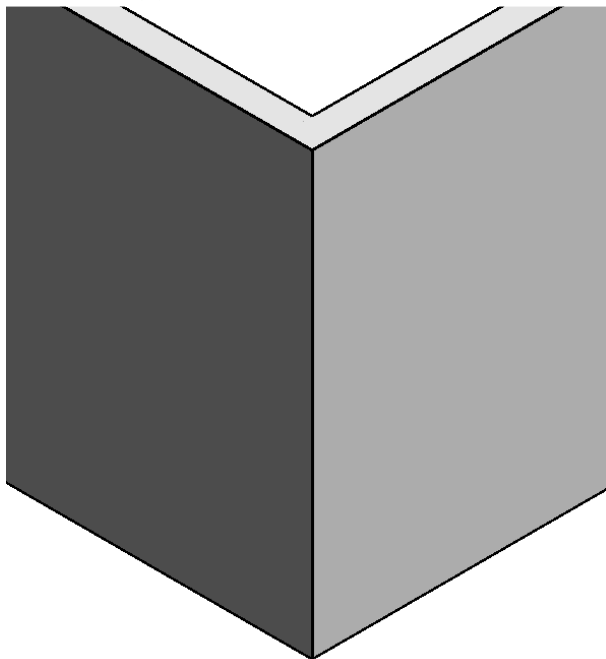
När innerväggen görs i betong ansluter oftast utfackningsväggen till betongväggen, som då kan hamna långt ut i väggen. Detta skapar en köldbrygga likt ett mellanbjälklag. Om innerväggen är en lägenhetsskiljande stålregelvägg kan man oftast inte använda slitsade regler p.g.a. ljudkraven mellan lägenheter.

För att minimera köldbryggan gäller samma princip som för ett mellanbjälklag. Så länge innerväggen ansluter i ytterväggen utan att bryta in i isolerskiktet, och påverkar tjockleken av detta, är denna köldbrygga begränsad.

Diskussionspunkter vid projektering:

- Använd högpresterande isolering på innerväggens ytterkant (t.ex. PIR).
- Lägg till ett kontinuerligt isolerskikt utvändigt.
- Vid stålreglar; använd om möjligt slitsade stålreglar (gäller utfackningsväggar)
- Om innerväggen är i betong, låt den skära in så lite som möjligt i ytterväggen.
- Innerväggens tjocklek bör hållas på ett minimum. Obs! Ljudkrav mellan lägenheter måste uppfyllas
- Undvik/minimera materialförstärkningar vid skarvar, välj/ använd raka skarvar. Obs! Fukt i elementet måste hanteras (gäller sandwichelement).

4.3 Ytterväggshörn



Denna typ av köldbrygga går ej att helt bygga bort då det finns en geometrisk effekt där den yttre och kalla ytan är större än den inre och varma ytan (om det är ett utåtgående hörn). Dock kan man minimera antalet ytterhörn (undvik alltför veckade/skrynkliga fasader) samt påverka den materialberoende delen av köldbryggan. Denna köldbrygga är större i välisolerade hus och i mindre byggnader.

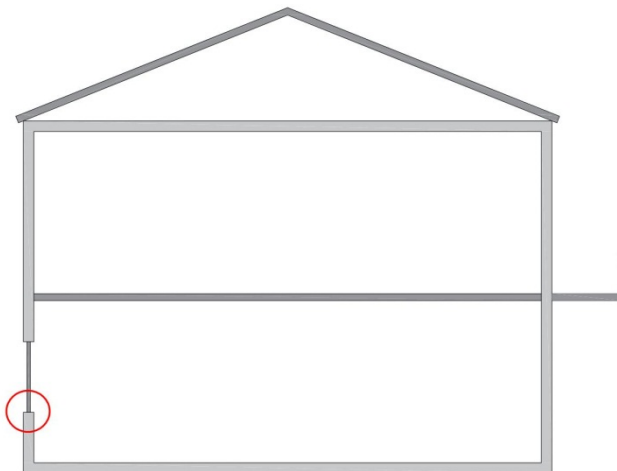
Diskussionspunkter vid projektering:

- Vid stålreglar; använd slitsade reglar.
- Lägg till ett kontinuerligt isolerskikt utvändigt.

- Använd högpresterande isolering i hörn.
- Försök att minimera antalet regler i hörnanslutningen (gäller utfackningsväggar).
- Håll materialförstärkningarna i den yttre skivan på ett minimum (gäller sandwichelement) Obs! Konstruktiva krav måste uppfyllas.

I ytterhörn av betong med utanpåliggande isolering behövs det normalt inte några förstärkningar vilket minimerar uppkomst av materialberoende köldbryggor.

4.4 Fönsteranslutning



Köldbryggan som skapas vid fönsterinfästningar är ofta den köldbrygga som har störst påverkan på byggnadens totala transmissionsförlust i flerbostadshus. Denna köldbrygga är både material- och geometriskt beroende. I större byggnader kan antal löpmeter karm bli väldigt stort. Tänk på att antal löpmeter köldbrygga minskas genom färre och större kvadratiska fönster (med bibehållen fönsterarea).

Diskussionspunkter vid projektering, utfackningsvägg med trä- eller stålregelstomme:

- Placera karmen i centrum av väggens isolerskikt. Observera att indragna fönster kan innebära en risk ur fuktsynpunkt i slagregnsutsatta områden. Detta måste hanteras med de projektspecifika förutsättningarna.

- Isolera stålreglar med hjälp av en hård isolerskiva (mellan karm och regel).
- Undersök möjligheten att överisolera karmen på utsidan. Dock måste fuktsäkerheten lösas.

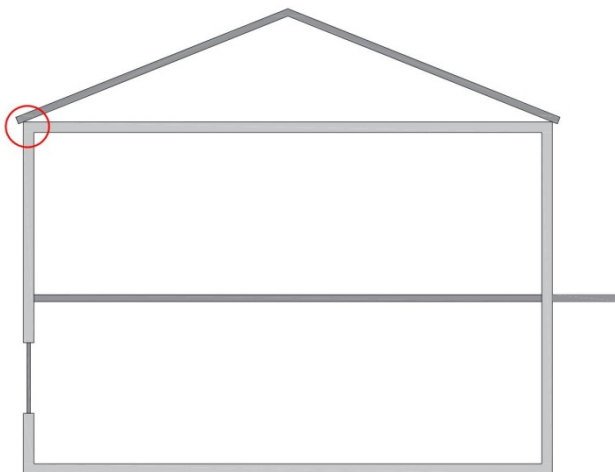
Diskussionspunkter vid projektering, sandwichelement och betong med utanpåliggande isolering:

- Ersätt den konventionella betongklacken (som karmen ställs på) med en fibercementskiva eller liknande (Obs! Risk för fuktrörelser i skivan) eller ersätt betongklacken med intermittenta stålvinklar nedfrästa i isoleringen där infästningarna i den aktuella karmen finns. Dra ej stålet förbi karmens yttre sida. Om detta alternativ ska användas måste isoleringen vara tillräckligt styv för att svällband eller liknande ska kunna sluta tätt.
- Undersök möjligheten att överisolera karmen på utsidan. Dock måste fuktsäkerheten lösas.

Om betongklack används:

- Minska klackens dimensioner, både bredd och höjd
- Använd högpresterande isolering i skiktet mellan klack och yttre skiva.

4.5 Yttervägg/Tak



I denna typ av köldbrygga finns både materialeffekter och en geometrisk effekt, där den yttre ytan är större än den inre ytan. Takanslutningen kan vara en nominellt stor köldbrygga. Dock minskar påverkan på den totala transmissionsförlusten med byggnadens antal våningar. Detta avsnitt delas upp i två taktyper; lätt takkonstruktion och kompakttak. Ett kompakttak kan byggas på t.ex. trapetsplåt eller ett betongbjälklag. Ofta avslutas ett kompakttak med en sarg. Principerna ur energisynpunkt är relativt lika.

4.5.1 Lätt takkonstruktion

Diskussionspunkter vid projektering:

- Använd utanpåliggande isolering på väggen.
- Dra upp väggens utvändiga isolerskikt förbi vindisoleringen.

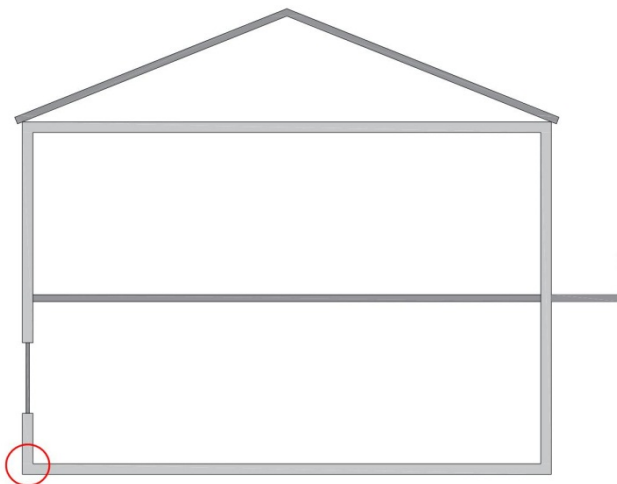
- Använd slitsade regler.
- Hög upp takfoten så vindsbjälklagets isolerskikt kan hålla full höjd hela vägen ut mot takfot.

4.5.2 Kompakttak

Diskussionspunkter vid projektering:

- Undvik om möjligt att använda sandwichelement som taksarg. Dra istället upp endast den yttre skivan (gäller sandwichväggar).
- Bygg sargen av lecablock eller som en stålregelkonstruktion.
- Klä in sarg i isolering.

4.6 Kantbalk



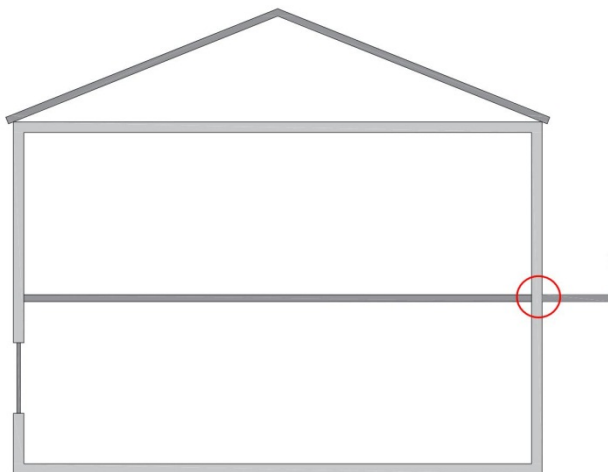
Kantbalken i en bottenplatta är ofta den nominellt största köldbryggan i en byggnad. I hus på 1-2 våningar kan kantbalken utgöra en mycket stor andel i byggnadens totala transmissionsförlust. Dock minskar påverkan på den totala transmissionsförlusten med byggnadens antal våningar. Däremot kan komforten i bottenlägenheterna påverkas negativt vid en dålig lösning.

Diskussionspunkter vid projektering:

- Separera kantbalken från bottenplattan genom att använda färdiga kantelement av isolering, t.ex. F- eller U-element. Obs! Konstruktionen måste klara aktuell last.
- Ersätt kantbalken med ett lecablock Obs! Konstruktionen måste klara aktuell last.

- Använd högpresterande kantbalksisolering.
- Öka den yttre kantbalksisoleringen och/eller klä in voten i isolering.
- Använd hållfast isolering mellan vägg och kantbalk.
- Utred om tjälisolering kan användas för att minska köldbryggan.
- Minska sockelvisningen, dock ej under 200 mm för fuktkänsliga fasader (BBR 20).

4.7 Balkonganslutning



Det finns många typer av balkonginfästningar och denna anslutning kan bli en mycket stor köldbrygga beroende på utformning och omfattning. Generellt kan man säga att den sämsta lösningen ur energisynpunkt är när infästningen till bjälklaget är genomgående genom väggens isolering och kontinuerlig över hela balkongens bredd, t.ex. utkragande betongbjälklag, men även utkragande stålbalkar ger stora köldbryggor. Tänk på att leverantörers uppgifter om ψ -värden ofta inte anger hur omgivande konstruktion ser ut, vilket är direkt avgörande för köldbryggan. Ta reda på beräkningsförutsättningar eller räkna själv! Detta är särskilt viktigt i projekt med hårda energikrav.

Diskussionspunkter vid projektering:

- Använd yttre bärning, helt eller delvis, för att minska den materialberoende köldbryggan.
- Använd infästningsmoduler med högpresterande isolering.
- Använd hellre intermittenta infästningar istället för kontinuerliga vid inspända balkonger.
- Vid genomgående armering; använd rostfri armering (lägre värmeledningstal än vanlig armering).

5 Tips & Slutsatser

Nedan sammanfattas viktiga slutsatser som är bra att tänka på i arbetet med köldbryggor. Punkterna nedan är relevanta både för arkitekten och för ingenjören.

- Använd index, i , oi och e , vid mängdning för att undvika kommunikations- och följdfel.
- Var konsekvent vid val av måttdefinition och få korrekta värden.
- U-värde i bästa eller sämsta snittet? Ha koll på vad som ingår i levererade U-värden.
- Vid gränsdragningen mellan olika aktörer i en energiberäkning är det viktigt att inget faller mellan stolarna, t.ex. vem som beräknar köldbryggan i elementskarvar. Klargör vilka ansvarsområden det är som gäller.
- Alla funktionskrav måste beaktas likvärdigt.
- Köldbryggor skiljer sig mellan olika byggsystem. Generellt är köldbryggorna mindre i konstruktioner med ett yttre obrutet isoleringslager, t.ex. betong med utanpåliggande isolering. Sandwichkonstruktioner tenderar att ha en större andel köldbryggor då materialförstärkningar och liknande är vanligt förekommande.
- Schablonpåslag för köldbryggor kan vara lämpligt i tidiga skeden. Dock bör andra metoder väljas i senare skeden.
- Stäm av använda katalogvärden och beräknade värden mot projekterade detaljer.

- Ha alltid en kritisk syn på utdata från simuleringsprogram.
- Genom att studera fördelningen av köldbryggor ges en vägledning i vilka anslutningar som kan vara mest kostnadseffektiva att jobba vidare med.
- Ta upp diskussionen om energisparande åtgärder tidigt i projekteringen för att få lösningar som fungerar ur alla perspektiv och funktioner.
- Geometriska köldbryggor kan minimeras när byggnaden är kompakt.
- När ψ -värden för balkonger levereras, ta reda på beräkningsförutsättningar.
- Yttre bärning är det bästa alternativet för balkonger.

Referenser

Berggren, B. & Wall, M. (2011). *The importance of a common method and correct calculation of thermal bridges*.

Proceedings from Nordic Symposium on Building Physics. Tampere, Finland.

Berggren, B. & Wall, M. (2012). *Se byggsystemet – inte byggdelen – vid beräkning av energiförluster*. Bygg & Teknik, 104 (3), 34-36.

Berggren, B. & Wall, M. (2013). *Calculation of thermal bridges in (Nordic) building envelopes – Risk of performance failure due to inconsistent use of methodology*. Energy and Buildings 65 (2013) 331-339.

Blocon. (2011). *HEAT2 8.03 – Heat transfer in two dimensions*. www.buildingphysics.com.

Boverket. (2013). *Boverkets byggregler, BBR 20, BFS 2013:14*. Karlskrona.

Filipsson, P., Heincke, C., Wahlström, Å. & CIT Energy Management. (2013). *Sammanställning av lågenergibygnader i Sverige*. LÅGAN Rapport oktober 2013. Göteborg.

SIS. (2000). *Byggnaders termiska egenskaper – Bestämning av byggnaders lufttäthet – Tryckprovningmetod (ISO 9972:1996, modifierad)(ISO 13829:2000)*. Swedish Standards Institute, Stockholm.

SIS. (2006). *Termiska egenskaper hos fönster, dörrar och jalusier – Beräkning av värmegenomgångskoefficient – Del 1:*

Allmänna riktlinjer (ISO 10077-1:2006). Swedish Standards Institute, Stockholm.

SIS. (2007a). *Byggnaders termiska egenskaper - värmegenomgångskoefficienter – Beräkningsmetod (ISO 13789:2007)*. Swedish Standards Institute, Stockholm.

SIS. (2007b). *Köldbryggor i byggnadskonstruktioner – Värmeflöden och yttemperaturer – Detaljerade beräkningar (ISO 10211:2007)*. Swedish Standards Institute, Stockholm.

SIS. (2007c). *Byggnaders termiska egenskaper – Värmeöverföring via marken – Beräkningsmetoder (ISO 13370:2007)*. Swedish Standards Institute, Stockholm.

SIS. (2007d). *Byggkomponenter och byggnadsdelar – Värmemotstånd och värmegenomgångskoefficient - Beräkningsmetod (ISO 6946:2007)*. Swedish Standards Institute, Stockholm.