

Förord

Denna rapport behandlar mitt examensarbete vid fakulteten Tillämpad fysik och elektronik på Umeå Universitet. Examensarbetet avslutar mina studier på Byggt teknikprogrammet, och motsvarar 15 hp. Arbetet har utförts mellan april 2009 till september 2009.Handledare på universitetet har varit Ulf Arne Girhammar, och tillika examinator. Examensarbetet har utförts i samarbete med Masonite Beams AB i Rundvik. Min handledare på Masonite har varit Matilda Höök.

Min förhoppning är att denna studie ska kunna visa på nyttan med att tänka på kända olägenheter, som köldbryggor i hörn och knutpunkter, vid utförandet av en byggnad. Ett energieffektivt tänkande kommer löna sig i slutändan och gynnar både miljön och plånboken.

Jag vill rikta ett stort tack till följande personer, som gett mig tips och hjälp för att kunna färdigställa denna studie. Ett extra stort tack vill jag rikta till Matilda Höök, som gett mig många nyttiga tips på vägen och ställt upp med hjälp då det har behövts. Utan din hjälp hade inte den här rapporten nått dess nuvarande standard:

Matilda Höök, handledare på Masonite

Tommy Persson, teknikchef på Masonite

Gunnar Anderlind, skapare av beräkningsprogrammet UNorm, konsult

Ulf Arne Girhammar, handledare och examinator på Umeå Universitet

Alla trevliga medarbetare på Masonite som fick mig att känna mig välkommen där, samt alla personer som jag pratat med under arbetets gång och som hjälpt mig på vägen!

Stort tack till samtliga!

Umeå 2009

Niclas Johansson

Sammanfattning

Mänskligheten står numera inför en rad sämre förändringar av jordens klimat, som med stor ansträngning från oss alla kan motverkas. Detta examensarbete är endast en liten del av denna ansträngning, men förhoppningsvis kan det plantera ett frö för en förbättrad miljö. Examensarbetets syfte är att analysera köldbryggor i kända knutpunkter och hörn för Masonites Beams lättbalk. Resultatet jämförs med vanlig homogen träbalk för att fastställa hur pass bra Masonites lättbalk står sig i jämförelse mot detta. Köldbryggor är detaljer i en konstruktion som leder bort värme ur byggnaden i en större mängd än på andra ställen i konstruktionen.

Studien har utförts i samarbete med Masonite Beams. Ett noga utvalt beräkningsprogram används för att beräkna så kallade psi-värden (ψ) för fyra utvalda köldbryggor, uppbyggda dels med Masonites lättbalk och dels med homogen träbalk. Detta beräkningsprogram heter UNorm och är ett mycket lättanvänt program för att beräkna köldbryggor. Psi-värdena för nämnda köldbryggor ingår i beräkning för genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för en byggnad (U_m), som i sin tur ingår i beräkning av värmeförluster.

Utformning av knutpunkter och hörn är mycket viktigt att utföra väl, för att minska köldbryggor. Ett installationsskikt på insidan av en vägg är ett sätt att minska en köldbrygga på i ett ytterhörn. Nyttan av att ta hänsyn till köldbryggor vid energiberäkningar, och att vara noggrann vid utförande av knutpunkter och hörn är mycket viktig och framhålls i denna studie. En analys görs kring hur användning av köldbryggor i energiberäkningar ser ut, hos ett företag som sysslar med byggfysik. Metoden som används var, liksom min egen, beräkning av köldbryggor med hjälp av ett beräkningsprogram. Då detaljerna kring köldbryggor är undermåliga, ersätts dem istället i energiberäkningarna med en procentsats på 20 %.

Abstract

Title: "Analysis of thermal bridges at nodes and corners"

The Earth's climate has changed in some extent throughout history, but is now changing dramatically in a bad direction. It is likely human-induced, but with a big effort from us all we can collaborate and make a difference. This degree project is just a small part of this effort, but it can hopefully assist to an improved environment. The main purpose of the project is to analyze thermal bridges in well-known nodes and corners for Masonite Beams light beam. The result has been compared with common homogeneous beams of wood to establish how good Masonite light beam keeps well in comparison against this. Thermal bridges are details in a structure that leads away heat from the building in a bigger amount than on other places in the structure.

The study has been accomplished in collaboration with Masonite Beams. A carefully selected calculation program is used in order to calculate thermal transmittance (ψ , psi-values) of four selected thermal bridges. Each bridge has been edified with two different constructions in each case. The mentioned calculation program is called UNorm and is very easy to use in order to calculate thermal bridges. The psi-values for the mentioned thermal bridges are included in calculation for the average thermal transmittance for a building (U_m), as in turn is included in calculation of heat losses.

The design of nodes and corners are very important to implement well, in order to decrease thermal bridges. One layer of installation on the inside of a wall is a way to decrease a thermal bridge on an external corner. The good of taking considerations to thermal bridges at energy calculations, and to be careful at execution of nodes and corners is very important and is pointed out in this study. An analysis is done around the use of thermal bridges in energy calculations at a company working with building physics. The method that is used by this company is, just like my own method, calculation of thermal bridges with a calculation program. When the details around thermal bridges are substandard, they are replaced by a percentage of 20% in the energy calculations.

Begreppsförklaring

Det som följer är en begreppsförklaring av vissa begrepp som återkommer i denna studie.

ψ -värde - Värmeigenomgångskoefficient för den linjära köldbryggan ψ (W/m·K), skrivs även som psi-värde

χ -värde - Värmeigenomgångskoefficient för den punktformiga köldbryggan χ (W/K), skrivs även som chi-värde

λ -värde - Värmeledningsförmåga (W/m·K), skrivs även som lambda-värde

U_m - Genomsnittlig värmeigenomgångskoefficient för en byggnad (W/m²·K)

A_{temp} - Golvarean på samtliga våningsplan i temperaturreglerade utrymmen avsedd att värmas till mer än 10°C begränsade av klimatskärmens insida. Garage ska dock inte räknas med i A_{temp} , även om det är uppvärmt.

A_{om} - Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft i m².

Klimatskärm - Klimatskärmen utgörs av alla byggnadsdelar mot uppvärmd inneluft. Med andra ord menas det tak, golv, väggar, fönster, dörrar etc. som begränsar uppvärmda delar av byggnaden mot mark, uteluft eller ouppvärmda utrymmen.

Byggnadens energianvändning - Byggnadens energianvändning (Q_{energi}) är den energi som vid ett normalår behöver levereras till en byggnad för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi. Om golvvärme, handdukstork eller annan typ av uppvärmningsapparat installeras får även dess energianvändning räknas in.

Byggnadens specifika energianvändning - Denna term definieras i BBR som byggnadens energianvändning fördelat på golvarean A_{temp} uttryckt i kWh/m² och år. Byggnadens specifika energianvändning får reduceras med energi från eventuellt installerade solfångare och solceller. Nedan visas hur den specifika energianvändningen beräknas:

$$Q_{energi}^{specifik} = \frac{Q_{energi}}{A_{temp}}$$

Innehållsförteckning

Förord	I
Sammanfattning	II
Abstract	III
Begreppsförklaring	IV
Innehållsförteckning	V
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och problemställning.....	2
1.3 Masonites lättbalk.....	3
2 Köldbryggor, energihushållning och täthet	5
2.1 Köldbryggor	5
2.1.1 Köldbryggors placering i en byggnad	7
2.1.2 Orsaker till köldbryggor	9
2.1.3 Utformning av knutpunkter och hörn	11
2.2 Krav på energihushållning och täthet	12
2.2.1 Energihushållning	12
2.2.2 Täthet i byggnaden.....	15
2.2.3 Tätning av knutpunkter och hörn.....	17
3 Metod	21
3.1 Beräkningsprogram och definitioner	21
3.1.1 Beräkning av U_m	21
3.1.2 Beräkningsprogram	22
3.2 Utformning av jämförda knutpunkter och hörn	24
4 Resultat	29
4.1 Genomförda beräkningar av köldbryggor	29
5 Diskussion och slutsats	35
6 Litteraturförteckning	40
7 Bilagor	43

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Planeten vi bor på är inne i en kraftig förvandlingsperiod för tillfället. Det är det nog ingen som har missat. Klimatförändringar, växthuseffekten, miljökatastrofer är i dag vardagliga begrepp som är kända av gemene man. Människan är ett väldigt klokt och intelligent djur, och har lyckats med underverk som imponerar. Uppfinningar såsom hjulet, krutet, papperet, utnyttjandet av elektricitet, byggnadsverk som pyramiderna i Egypten, Colosseum i Rom, Kinesiska Muren, och bedrifter som den första månlandningen, upptäckten av eld samt det skrivna ordet är alla mycket imponerande, om en stunds eftertanke ges. Detta håller nu människan på att rasera i form av överkonsumtion av naturresurser och en oacceptabel behandling av miljön.

Det finns dock hopp då utvecklingen mot minskat koldioxidutsläpp och användning av miljövänlig energiproduktion går framåt. Men i takt med att mänskligheten växer och utvecklas ställs högre och högre krav på kvalificerat miljöarbete. Att effektivt värna om miljön handlar inte bara om att minska bilarnas avgaser, och att ersätta utnyttjandet av fossila bränslen. Det finns många små delar av det stora miljöarbetet, och bland dessa hittas energihushållning för byggnader.

Det är här detta arbete kommer in i bilden, som en liten del i utvecklingen av energihushållning för byggnader. Sanningen är att dels tar miljön mindre stryk och dels sparas pengar i slutändan, om ett bygge sker med ett energieffektivt tänk. Köldbryggor i byggnader är en välkänd "energitjuv" som leder ut värme ur byggnaden genom knutpunkter och hörn. Värmeförluster genom köldbryggor kan nå upp till 20-30 % av de totala värmeförlusterna genom klimatskärmen. För att uppnå en tillfredsställande termisk komfort och att minska energiförlusterna är det även viktigt att tillgodose tätheten i en byggnad. Otätheter i klimatskärmen leder till utsläpp av värme och ökar energiförlusterna. Otätheterna förekommer särskilt där de stora köldbryggorna finns. På så sätt hänger köldbryggor och täthet i klimatskärmen ihop. Att bättre förstå hur köldbryggor fungerar, är därmed ett sätt att försöka minska energiförluster genom klimatskärmen på en byggnad. Masonite Beams lättregel har i en studie, utförd av Sweco Theorells, visat sig ge 5-9 % lägre energiförbrukning jämfört med homogen träregel. Utifrån detta resultat kan det vara möjligt att lättregeln även ger fördelar gällande köldbryggor.

1.2 Syfte och problemställning

Baserat på den presenterade bakgrunden är examensarbetets syfte att:

Analysera köldbryggor i knutpunkter och hörn uppbyggda med Masonites lättbalk, samt jämföra lättbalk med homogen träregel med avseende på köldbryggor och energianvändning.

För att kunna besvara syftet i arbetet uppdelas syftet i följande frågeställningar:

- Hur påverkar köldbryggor en byggnads energianvändning?
- Hur tas hänsyn till köldbryggor i energiberäkningar?
- Vilken typ av beräkningsprogram kan användas för att analysera köldbryggor uppbyggda med Masonites lättbalk?
- Hur betydelsefull är tätheten vid en köldbrygga och vilka krav ställs på en köldbrygga ur täthetssynpunkt?
- Hur står sig Masonites lättbalk i jämförelse med homogen träregel med hänsyn till köldbryggor och energihushållning?

1.3 Masonites lättbalk

Masonite är uppdelat i två sektioner; Board och Beams. Masonite Beams står för balktillverkningen och säljer träbaserade I-balksystem till kunder över hela världen. De produkter som tillverkas är träbaserade balkar, reglar och syllar. Lättbalkarna är starka och lätta att hantera, då de väger mycket mindre än en vanlig homogen träbalk. De har tydliga miljö- och energifördelar.

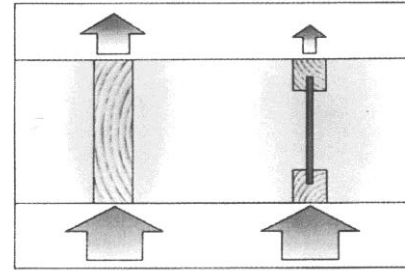
Lättbalken är av typen I-profil och är uppbyggd med ett liv av Masonites egen board, och flänsar av konstruktionsvirke. Lättbalken är en del i Masonites eget byggsystem, MFB (Masonite Flexibla Byggsystem), som är anpassat för ett effektivt byggande av bostäder, från villor till flervåningshus. I MFB ingår standardiserade väggelement och bjälklag, uppbyggda med Masonites lättbalk, i form av element. Skillnaden i energibehov mellan ett hus uppbyggt med Masonites lättbalk och ett hus med homogen träbalk/träregel är mellan 5-9 %, enligt en beräkning gjord av Sweco Theorells för Masonite Beams räkning.

I figur 1.1 visas Masonites lättbalk i olika storlekar:



Figur 1.1. Visar olika storlekar av Masonites lättbalk (Byggmagroup, 2009).

Lättbalken belastar ytterst lite på miljön. Dels behövs mindre råvara, än vid framställandet av en homogen träbalk och dels används spillmaterial från trävaruindustrin som råvara. Både lättbalken och Masonites board, som också används i MFB, tillverkas med mycket små tillsatser av lim, och på så sätt blir de miljöfarliga utsläppen mindre. Med en betydligt mindre tvärsnittsarea än en homogen träbalk, finns även mer plats för värmeisolering, vilket ger upphov till en mindre köldbrygga, figur 1.2. Det ger mindre värmeförluster vilket är både miljövänligt och mer energieffektivt.



Figur 1.2. Masonites lättbalk (t.h.) medför en mindre köldbrygga än en homogen träbalk.

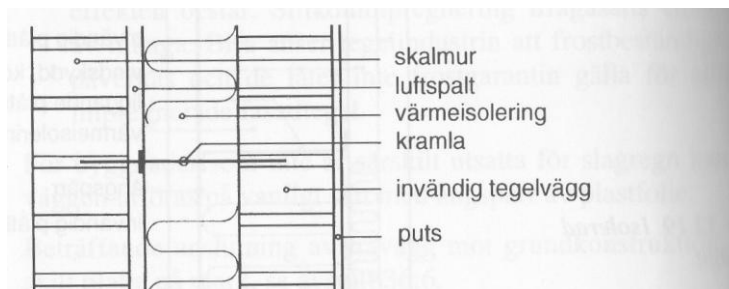
Masonite Beams AB är projektägare till utvecklingsprojektet MIKS – MFB Industriell Konstruktiv Samverkan – där syftet är att utveckla en industriell byggprocess för ett byggsystem baserat på MFB. Projektet är finansierat av Vinnova, som är en statlig myndighet som sysslar med finansiering av forskning, samt EU Strukturfonder Mål 2.

I projektet ingår aktörer från hela byggprocessen; arkitekter, projektörer, system- och komponentleverantörer, elementtillverkare, väderskydd och entreprenörer. Tillsammans skapar aktörerna en gemensam kunskapsbank och sätter krav för det slutgiltiga systemet som projektet skall resultera i. I arbetet med att skapa en rationell industriell byggprocess ingår att utveckla och anpassa det industriella byggsystemet och dess delars design, konstruktion och produktion. Med ett gemensamt helhetstänk underlättas processen att i slutändan nå fullgod täthet, minskade köldbryggor och en god energihushållning.

2 Köldbryggor, energihushållning och täthet

2.1 Köldbryggor

En köldbrygga är en konstruktionsdetalj där material med dålig värmekonduktivitet bryter igenom ett material med bra värmekonduktivitet. Detta medför en högre värmeströmning i dessa delar jämfört med övriga. Köldbryggan är oftast flerdimensionell, vilket ger en förstärkning av värmeförlusterna.



Figur 2.1. En uppenbar köldbrygga i form av en kramla i en tegelvägg (Nevander och Elmarsson, 1994).

Det finns två sorters köldbryggor som används vid beräkningar; den linjära och den punktformiga. Den linjära köldbryggan betecknas med ψ (psi) och förekommer vid anslutningar som t.ex. mellan bjälklag och vägg, tak och vägg och vägg och vägg. Den punktformiga köldbryggan betecknas med χ (chi) och förekommer till exempel vid hörn, där det finns en tredimensionell värmeströmning eller genom kramlor i tegelväggar, se figur 2.1.

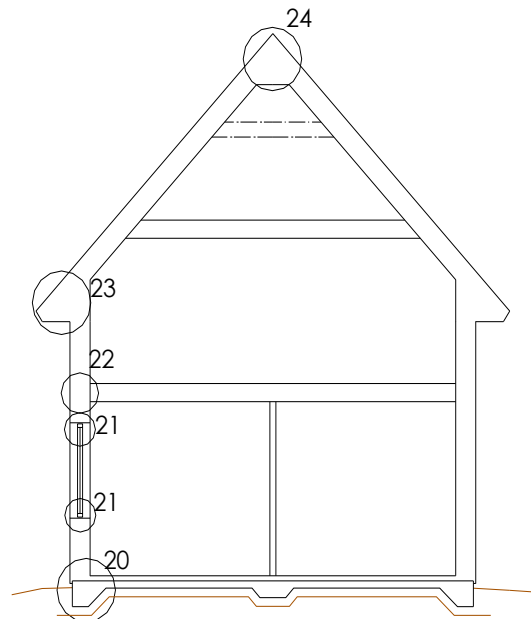
Värmeförluster genom köldbryggor kan nå upp mot 20-30 % av de totala transmissionsförlusterna genom klimatskärmen. I extremfall kan köldbryggorna ge än mer påverkan (Isover, 2007). Inte nog med att värmeförlusterna ökar, så sjunker temperaturen på insidan som en följd av detta. Det i sin tur kan ge upphov till en ökad smutsavsättning på de kallare ytorna, en försämrad termisk komfort och i värsta fall ytkondensation.

Beräkning av köldbryggor görs enligt BBR:s beskrivning, avsnitt 9 BBR 16. Köldbryggorna ingår i det så kallade U_m -värdet, vilket är kravsatt i BBR, tabell 2.1–2.2. Beräkningar görs med speciella beräkningsprogram, diagram och tabeller eller genom användning av schablonvärden. Beräkning genom schablonvärde bör endast användas vid grova uppskattningar av förväntad energianvändning, i ett tidigt skede av byggprocessen. Det är oklart hur och när de olika metoderna används. Men ett exempel är konsultföretaget Bjerking AB där konstruktörerna använder HEAT 3 (se kapitel 3.1.2 – Beräkningsprogram) för noggranna beräkningar av köldbryggor. Programmet visar ett tredimensionellt värme flöde genom den modell som skapats. Det krävs några timmars arbete för att bygga upp sin konstruktion, om ett noggrant resultat efterfrågas. På Bjerking AB räknas inte alla köldbryggor i en byggnad, på grund av det tidskrävande arbetet. Det räcker med att räkna några köldbryggor, för att sedan på ett ungefär se vart slutresultatet hamnar. Då de även jobbar mycket med samma företag är det möjligt att dra nytta av gamla beräkningar. Då det inte finns några exakta detaljer kring köldbryggornas uppbyggnad, ersätts det sammanlagda ψ -värdet för alla köldbryggor med en procentsats på 20 %. Med denna procentsats anser de på Bjerking AB att köldbryggorna beaktats väl (Andersson, 2009). Mer om beräkningar går att läsa utförligt under kapitel 3.

Beräkningsmetoder för köldbryggor ges senare i denna studie (se kapitel 3.1.2 – Beräkningsprogram) och görs med datorberäkningar. I Swedisols handbok *Isolerguiden Bygg 06:1* finns ett antal förenklade formler för att beräkna köldbryggor för en rad olika typer av knutpunkter. Alla typer finns dock inte med, men det är ändå möjligt att få en uppfattning kring ψ -värdets storlek. För att vara på säkra sidan så väljes helt enkelt ett högre värde.

2.1.1 Köldbryggors placering i en byggnad

I en vanlig villa finns det ett flertal välkända knutpunkter och hörn som bildar köldbryggor. På följande plan- och situationsbild visas de mest kända köldbryggorna:

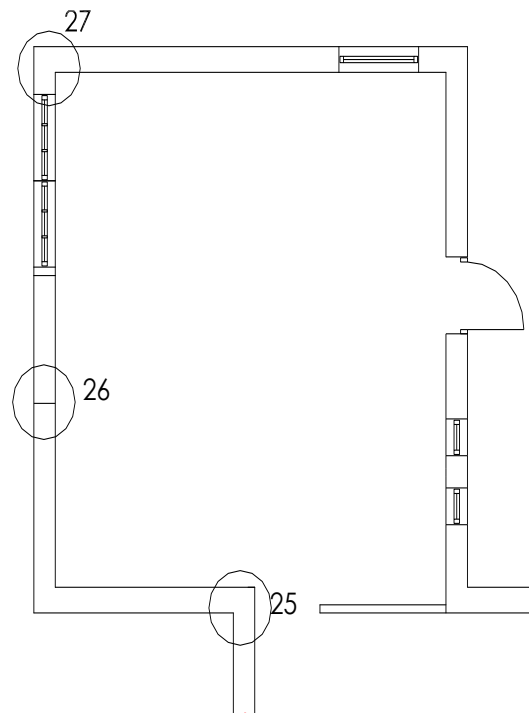


Figur 2.2. Bild av en sektion med kända köldbryggor inringade.

I figuren visas en sektion av en vanlig 1½-plansvilla. De inringade köldbryggorna är:

- 20 – Vägg i anslutning mot platta på mark
- 21 – Fönster- och dörranslutning
- 22 – Bjälklag i anslutning mot yttervägg
- 23 – Tak i anslutning mot yttervägg
- 24 – Taknock

Figur 2.3 visar en plan av en byggnad med de mest vanliga köldbryggorna.



Figur 2.3. Planritning med inringade köldbryggor.

I figuren hittas följande beteckningar:

- 25 – Innerhörn, yttervägg
- 26 – Anslutning mellan två väggblock
- 27 – Ytterhörn, yttervägg

2.1.2 Orsaker till köldbryggor

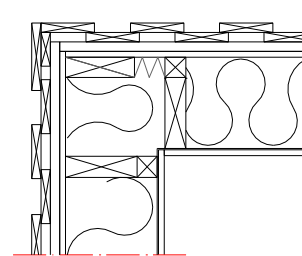
Köldbryggor orsakas av dels den geometriska eller den konstruktiva utformningen samt av olika typer av genomföringar.

En köldbrygga som beror av en geometrisk utformning är till exempel ett hörn i en yttervägg, anslutning mellan vägg och platta på mark, tak och vägg samt fönster- och dörrsmyggar, figur 2.4.

Värmetransporten sker genom *konvektion*. Med konvektion menas fukt- och värmetransport genom

luftrörelser. För de geometriska köldbryggorna beräknas ψ -värden för respektive köldbrygga.

Mer om detta finns att läsa i kapitel 4.



Figur 2.4. Ytterhörn i en vägg. Ett typexempel på en geometrisk utformning.

Köldbryggor som uppkommer på grund av konstruktiv utformning kan ha stor påverkan på värmeförluster genom klimatskalet, se figur 2.5. Dessa karakteriseras av att isoleringsskiktet är försämrat vid positionen för

köldbryggan. Byggnadsdelar bryter

delvis eller helt igenom

värmeisoleringen. På så sätt sker

värmetransporterna via *ledning*.

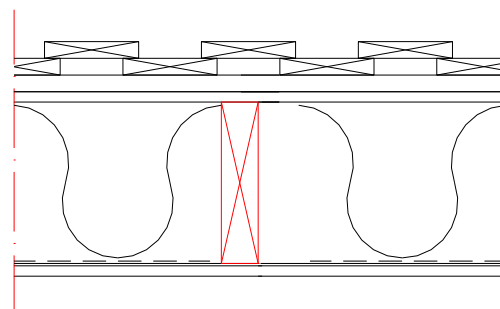
Ledning sker då värme transporteras via ett material till ett annat. De

konstruktiva köldbryggorna inkluderas,

till skillnad mot de geometriska, i

konstruktionens U-värde. Läs mer om detta

i kapitel 4.



Figur 2.5. Homogen träregel i en vägg. Ett typexempel på en konstruktiv utformning och tydlig köldbrygga.

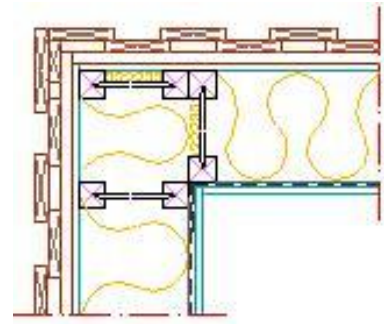
En uppdelning kan göras för de konstruktiva köldbryggorna i tre olika avseenden; den bärande stommen, speciella byggnadsdelar och fästanoordningar. Ett vanligt exempel på en köldbrygga för den bärande stommen är i en vanlig träregelvägg, där köldbryggor uppkommer i knutpunkterna mellan stående och liggande reglar.

Med speciella byggnadsdelar menas i detta avseende fönster, dörrar och portar, samt speciella metallpartier eller bröstningar i anslutning till dessa. Av stabilitetsskäl har dessa konstruktioner ofta ett material som bryter igenom klimatskalet. Fästanoordningar för fasadmateriel och andra konstruktionsdetaljer utgör en mindre köldbrygga. Det kan vara murkramlor, plåtskruv, bult, spik och liknande.

Köldbryggor i form av genomföringar kan utgöras i form av vatten- och avloppsrör av plast eller järn, ventilationskanaler av plåt och elledningar av plaströr. Normalt är t.ex. vattenledningar och ventilationskanaler värmeisolerade, då de transporterar värme genom vatten respektive luft. Däremot måste de genomförande delarnas anslutningar mot klimatskärmen tätas grundligt för att förhindra luftläckage, vilket kan skapa värmeförluster och risk för fuktproblem.

2.1.3 Utformning av knutpunkter och hörn

Utformningar av knutpunkter och hörn, där köldbryggor i högsta grad uppstår, är viktigt att beakta. Den konstruktion som jag tittar på i detta fall är ett ytterväggshörn i detalj. Masonites lättbalk har i sig en förminskad köldbrygga jämfört med homogen träbalk, genom sitt smala balkliv. Och just mindre genomföringar av den här typen är viktiga om köldbryggan ska minskas. Mer isolering får plats och minskar även på så sätt värmeförlusterna. I figuren till höger kan det noteras att värme kan ledas ut genom två reglar (den nedre och den högra). Ett sätt att undvika det här på ett bra sätt, är att använda sig av ett installationsskikt på insidan av väggen. Installationsskikt förekommer för att undvika att eldosor och övrig elinstallation ska punktera ångspärren i väggen. Användning av ett installationsskikt gör att köldbryggan bryts, och det blir en längre väg för värmen att transporteras. På så sätt erhålls även en tätare konstruktion. Ett annat sätt att minska köldbryggan på är att ersätta en lättregel med en mindre homogen regel, som inte vidrör någon av de andra reglarna. På så sätt bryts den värmeledande effekten och köldbryggan minskar. I detta fall är konstruktionslösningen ett problem som måste lösas.



Figur 2.6. Ytterhörn, yttervägg med Masonites lättbalk.

2.2 Krav på energihushållning och täthet

2.2.1 Energihushållning

Boverket ställer krav på energihushållning i Boverkets Byggregler, BBR, avsnitt 9. Där beskrivs allmänt hur en byggnad ska utformas:

Byggnader skall vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kylanvändning och effektiv elanvändning. (BBR A, 2009)

Att spara energi är en viktig fråga i dagens samhälle, både ur ekonomisk och ur miljömässig synpunkt. Genom att minska köldbryggornas påverkan på en byggnads värmeförluster, är det möjligt att spara energi och pengar. Det är således viktigt att alla som medverkar i ett byggprojekt har en helhetssyn kring byggnaden som ett energisystem. Från arkitekten som sätter sig ner och målar upp en skiss på hur byggnaden ska se ut, till byggentreprenören som färdigställer huset, måste vara medvetna om de krav och åtgärder som går att tillämpa, för att ur energisynpunkt få ett så bra slutresultat som möjligt.

Tillämpning för dessa energikrav gäller alla byggnader förutom sådana byggnader som inte kräver vare sig kyl- eller värmebehov, byggnader som används kortare perioder samt växthus och dylika byggnader.

I BBR finns de krav som ställs på bostäders energihushållning och värmeisolering. Bostäder utformas på så sätt att byggnadens specifika energianvändning värderas efter vilken klimatzon bostaden är lokaliserad. Den högsta genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten för en byggnad är också definierad i BBR. Se tabell 2.1 nedan:

Tabell 2.1 Energikrav för bostäder beroende på geografisk placering, enligt BBR A (2009).

Klimatzon	I	II	III
Specifik energianvändning (kWh/m ² ·år)	150	130	110
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m (W/m ² ·K)	0,50	0,50	0,50

Andra krav gäller för bostäder med el som uppvärmningskälla. Se tabell 2.2 nedan.

Tabell 2.2

Klimatzon	I	II	III
Specifik energianvändning (kWh/m ² ·år)	95	75	55
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m (W/m ² ·K)	0,40	0,40	0,40

De klimatzoner som nämns ovan är:

- I Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län
- II Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län
- III Västra Götalands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Östergötlands, Södermanlands, Örebro, Västmanlands, Stockholms, Uppsala, Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län

Det kan noteras att en ändring har blivit av i BBR:s senaste version (BBR 16) gällande klimatzoner. Tidigare gällde två klimatzoner; norr och söder. De två zonerna delades upp och blev tre nya zoner. Zonerna är baserade på geografisk placering och har olika energikrav. Den diskussion jag tycker är

intressant är gränsfallen mellan zonerna. Jag tar Västerbotten och Västernorrland som exempel. De båda länen är som bekant grannlän, men ligger i två olika zoner. Västerbotten ligger i zon 1 och Västernorrland i zon 2. Då zon 1 sträcker sig ända längst norrut i Sverige ner till Västerbotten, så kan en diskussion angående rättvisan med energikraven med rätta tas. Umeå, som ligger i Västerbotten, har samma energikrav som Kiruna, än fast klimatet skiljer markant. Årsmedeltemperaturer för städerna är 3,4°C respektive -1,2°C. Orättvist kan tyckas om en jämförelse görs mellan Umeå och Örnsköldsvik, med ett avstånd på 10 mil emellan och som ligger på varsin sida zongränsen. Umeå bedöms lika som Kiruna, medan Örnsköldsvik bedöms likvärdigt med Karlstad, som också ligger i zon 2. Detta är dock ett faktum som kvarstår från Boverkets sida, då ett likartat energikrav för hela Sverige vore väldigt dumdrigt. Möjligen kommer vi få se ändringar även på den här fronten i framtiden. Ett anpassat energikrav för varje enskilt län kanske vore något?

Boverket anger inte någon metod att tillämpa vid projekteringen för att intyga att kravet är uppfyllt. Ansvar överläts till byggherren/projektören att uppskatta energiförbrukningen i förväg, med valfri metod. Dock krävs det att mätutrustning installeras så att det i efterhand går att kontrollera kravet. Som allmänt råd under punkt 9:2 i BBR 16, avsnitt 9, (BBR A, 2009) går det att läsa att verifiering av kravet bör göras dels genom beräkning av byggnadens förväntade specifika energianvändning och den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten, och dels genom mätning av specifika energianvändningen i den färdiga byggnaden. Denna mätning ska pågå minst ett år, avslutad senast 24 månader efter att byggnaden tagits i bruk. Därefter ska en så kallad normalårskorrigerings utföras, där en korrigerings av byggnadens uppmätta energianvändning görs utifrån en jämförelse mellan klimatet på orten under ett normalår och det verkliga klimatet på orten under den tid som mätningen görs. Om kravet inte uppfylls efter utförd normalårskorrigerings, ska byggnaden enligt praxis genast åtgärdas eller i värsta fall rivas. Åtgärder i en färdigställd byggnad kan vara nog så svårt att utföra, då hyresgästerna knackar på dörren. För att undvika nämnda scenario är det viktigt att projektera med god marginal till kraven.

2.2.2 Täthet i byggnaden

I BBR avsnitt 9 finns inga konkreta krav kring täthet för en byggnad. Däremot går det att finna följande i avsnitt 6:42 - Termisk komfort:

Byggnader och deras installationer skall utformas, så att termisk komfort som är anpassad till utrymmenas avsedda användning kan erhållas vid normala driftsförhållanden. (BBR B, 2009)

Boverket motiverar sitt val med att utelämnat täthetskrav med följande utlåtande:

Det ställs ett övergripande funktionskrav på byggnadens energianvändning. Kravet på energihushållning kan uppfyllas på många olika sätt, t.ex. med mer eller mindre värmeisolering, olika tekniska installationer etc. Därmed behövs inget detaljkrav på klimatskärmens täthet. (Boverket, 2009)

Det går dock att läsa i avsnitt 9:4 – Alternativt krav på byggnadens energianvändning:

Byggnadens klimatskärm skall vara så tät att det genomsnittliga luftläckaget vid + 50 Pa tryckskillnad inte överstiger 0,6 l/s·m². (BBR A, 2009)

Behovet av en lufttät klimatskärm är stort. För en vanlig enplansvilla kan det ofrivilliga luftläckaget i en normalt lufttät klimatskärm vara upp mot 0,05 oms/h. Normal ventilation ligger vanligtvis på 0,5 oms/h. Det lufttätande skiktet ska förhindra luftläckage genom väggen inifrån och ut respektive utifrån och in. Det är väldigt viktigt att det fungerar för att förhindra fuktskador i väggen på grund av fuktkonvektion. Då otätheter ofta uppkommer där det även förekommer köldbryggor, är det viktigt att se till att utföra lösningen kring dessa detaljer nog. (www.rockwool.se, 2009)

En vanlig myt kring moderna och täta hus är att de inte "andas" tillräckligt. Detta är en myt som kan dödas direkt enligt Passivhuscentrum, 2009. Det ligger snarare till tvärtom. Ett tätt hus med en god ventilation är en förutsättning för att slippa problem med mögel och fuktskador. För ett otätt hus vandrar luften lättare genom klimatskalet. Inomhusluften innehåller mer fukt än utomhusluften, vilket leder till att när luften vandrar ut genom otätheter finns risk för att vattenångan i luften

kondenserar. Med tiden kan fukten i väggen leda till uppkomst av mögelsporer, som drivs in i huset när luften vandrar inåt. Det medför en stor risk för sjukdom och illamående för de boende.

Andra aspekter för lufttäthetens betydelse är att de ljudisolerande egenskaperna hos byggnaden försämras vid dåligt utförda genomföringar eller detaljutformningar. Ljud transporteras lätt genom otätheter och springor, vilket kan leda till svårigheter att leva upp till bullerkraven enligt BBR. Risken för drag inomhus minskas om en noggrann lufttätning genomförs. Det minskar även risken för att förorenad luft ska tränga in genom otätheter och orsaka obehag.

Vid nyproduktion av byggnader i dagens läge ställs frågan om vad som är rätt för just mitt projekt. Kraven på ett större energitänk ökar med tiden, men ställer även frågor. Frågan om energibesparing under drifttiden, som ett exempel. En byggnad som förhoppningsvis ska stå i minst 100 år, kräver ett långsiktigt, hållbart och energieffektivt tänk för att fungera och hålla sig intakt så länge. Ett koncept som många tror på är *passivhus*. Ett passivhus bygger på konceptet att ingen uppvärmning eller tillskottsvärme behövs till byggnaden. Människor i byggnaden, hemelektronik, belysning och hushållsmaskiner alstrar den spillvärme som värmer byggnaden. De kallaste dagarna ska ett värmeelement i ventilationssystemet räcka för att hålla byggnaden varm.

Hur kan då en byggnad värmas upp enbart med spillvärme från de apparater och de som rör sig inuti byggnaden? En utbredd tätning av byggnaden så att ingen luft ska kunna ta sig ut genom klimatskärmen. Enligt Passivhuscentrum, 2009, bör isolering i väggar vara 40 cm brett, i tak 50 cm och under golvet 30 cm. Ur täthets- och energisynpunkt är det riktigt bra, och all lufttillförsel sker via ventilationen. Detta stämmer bra överens med Boverkets fastställande kring täthet, se föregående sida.

För att få använda begreppet passivhus för en byggnad måste nämnda byggnad uppfylla ett antal grundläggande krav, enligt Energimyndigheten. Luftläckage genom klimatskärmen får för passivhus inte överstiga $0,3 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ vid en tryckskillnad på 50 Pa, enligt SS-EN 13 829 (Passivhuscentrum A, 2009).

2.2.2.1 Täthetsprovning

För att kontrollera att täthetskraven uppfylls bör en täthetsprovning utföras för den byggnad som betraktas. Det görs ofta enligt den så kallade "blower door-metoden", figur 2.7. Den går ut på att en fläkt stoppas in i dörröppningen till byggnaden och skapar en tryckskillnad mellan in- och utsida. Vanliga flödesutgångar, som ventilationsöppningar, och håligheter tejpas igen. På så sätt genereras ett värde på det luftflöde som krävs för att hålla uppe nivån på trycket.



Figur 2.7. En så kallad "blower door". Notera fläkten i underkant (Expert-air, 2009).

Metoden med blower door kan med fördel kompletteras med termografering med en värmekamera, som på ett enkelt sätt visar hur stor påverkan otätheterna har. Stora otätheter leder till en ökad energiförlust, men kan även leda till att mögelsporer, fuktig luft och koloxid kan läcka in i huset. Därför kan det vara av stor vikt att göra en täthetsprovning, med fördel kompletterad med en värmekamera, för att undvika dessa problem.

2.2.3 Tätning av knutpunkter och hörn

En byggnads lufttäthet måste vara möjlig att kontrollera. Täthetsprovning bör göras då ångspärren just har installerats, och innan isolering och beklädnadsskivor sätts in. Detta för att lätt kunna åtgärda de eventuella brister som finns. Mycket tid kan gå till spillo för att upptäcka alla brister, och därmed underlättar det om det är känt var de svaga punkterna finns. Några exempel på svaga punkter i klimatskärmens tätskikt är:

- Ångspärrens skarvar
- Genomföringar av eldosor, VVS o.d.
- Syll och hammarband
- Hörn i anslutning mellan yttervägg och fönster- eller dörrsmyg
- Anslutning mellan tak och vägg, samt golv och vägg

Ett annat sätt att täthetsprova en byggnad än att bruka den så kallade "blower door-metoden", är att göra tester i labbmiljö. Jag ringde upp Anders Gustafsson på SP Träteknik (Statens Provningsanstalt) i Skellefteå för att få reda på hur de gör sina tester, (Gustafsson, 2009). Deras metod var att använda en låda, som är uppbyggd av de material som ska kontrolleras. Lådan utsätts för över- och undertryck och på så sätt kan ett luftflöde beräknas. Det är väldigt likt blower door-metoden, fast i mindre skala. Anders menade på att det kan vara svårt att göra kontroller ute på byggen, då det är svårt att veta var luften tar vägen genom klimatskärmen. En stor fördel med deras labbmetod ansåg han vara att det finns en möjlighet till att hålla på länge och göra flera tester. Då lådan är uppbyggd med de material som önskas, kan de lätt bytas ut eller läggas till för att snabbt få nya resultat.

Något som är väldigt viktigt vid installation av ångspärr är att montörer och installatörer är väl medvetna om sin uppgift och hur de ska gå till väga. Rätt kunskap är väldigt viktig för att installationen ska utföras på rätt sätt och på så sätt slippa framtida bekymmer med fuktproblem eller stora energiförluster. Ett informationsmöte med berörda parter kan vara en lösning där tänkbara lösningar och arbetsmoment diskuteras, provas och utvärderas. Det är betydelsefullt så att det inte uppstår missförstånd på grund av en otydlig ansvarsfördelning och otydliga krav (Isover, 2009).

Byggherren har en central roll i byggprocessen och ska formulera tydliga krav på bland annat lufttäthet. Byggherren kan som hjälpmedel skapa en checklista där olika krav ställs för att säkerställa en hög kvalitet på byggnaden. I en sådan checklista bör tydliga mål och krav avseende lufttäthet och fuktsäkerhet finnas med. En kontrollplan för lufttätt och fuktsäkert byggande bör upprättas. En tydlig ansvarsfördelning är också viktig att ha med. En lufttäthets- och fuktsäkerhetsansvarig hos projektören och entreprenören bör utses av byggherren (Isover, 2009).

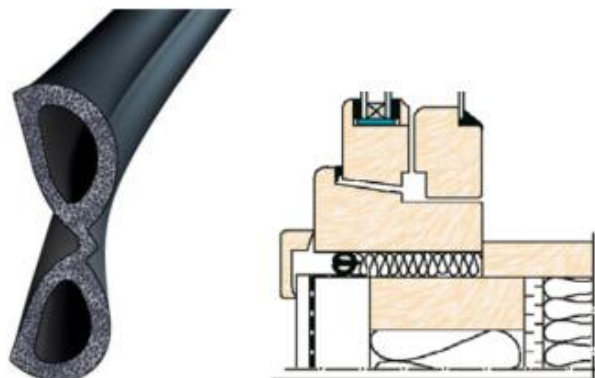
Det är framförallt två metoder som används för tätning av knutpunkter och hörn. Den ena brukas av industrikoncernen *Trelleborg* där det tillverkas tätningslister bland mycket annat. Tätningslister används framförallt i husfabriker där all tätning görs på plats. Väggar byggs i form av element, som senare sammanfogas på byggarbetsplatsen. I skarven mellan två sådana väggelement använder Trelleborg sig av en så kallad "O-list med fästläpp", se figur 2.8 nedan.



Figur 2.8. En O-list med fästläpp för tätning mellan väggelement (Trelleborg, 2009).

Fördelen med tätning med gummlister är att de tätar mot kyla, fukt, buller, vind och värme. De tar upp rörelser i fogar och element, och ger en god värmeisolering tack vare slutna celler. De har dessutom mycket hög åldersbeständighet.

Vid fönster är det möjligt att använda en så kallad D2-list, se figur 2.9. Listen är vind- och diffusionstät och ger inte upphov till kondens. Då gummit som listen tillverkas av, EPDM cellgummi, är mjukt ända ner till -40°C , är listen även så gott som alltid lätt att hantera.



Figur 2.9. En D2-list för tätning av fönstersmygar (T-emballage, 2009).

Den andra metoden för tätning av knutpunkter och hörn är att lösa det med plastfolie. Denna metod används framförallt vid uppbyggnad av stomelementen på byggarbetsplatsen. Då processen med att plasta in knutpunkter och hörn kan vara tidskrävande, passar metoden bättre på byggarbetsplatsen än i husfabriken.

Noggrannhet vid överlappning av plastfolie är viktigt, för att på så sätt minska värmeförlusterna. Hur mycket överlappning som krävs, skiljer sig mellan olika tillverkare. Företaget *T-Emballage* tillverkar ångspärrar i flera olika format, och förespråkar minst 200 mm överlappning. Isoleringstillverkaren *Isover* räknar emellertid med minst 100 mm överlappning för sin produkt *Isover Vario KM Duplex UV* (Isover, 2009). Den sistnämnda är en variabel ångbroms för lufttätning och fuktsäkring i väggar, golv och tak.

Metoden att överlappa med plastfolie kräver en hel del skarvprodukter, såsom tejp, för att utföras korrekt. Tejpen används till att tejpa kring genomföringar och kablar, skarvar och få dem helt täta.

3 Metod

3.1 Beräkningsprogram och definitioner

3.1.1 Beräkning av U_m

Formeln för beräkning av den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten, U_m , är fastställd i BBR avsnitt 9:12. Den tar hänsyn till både linjära och punktformiga köldbryggor och ger en genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för hela byggnaden. Kravet i BBR för en vanlig bostad är $0,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (se tabell 2.1). Kravet är till för att säkerställa en viss kvalitet i klimatskärmen för att garantera termisk komfort och undvika fuktproblem. I Swedisols *Isolerguiden Bygg 06:1* finns att läsa att kravet ger en sämre standard än dagens praxis. Om projekteringen görs efter kravvärdet, så riskeras byggnadens uppvärmningsekonomi, vilket kan medföra dåliga förutsättningar för att med annan energisparteknik än isolering uppfylla BBR:s energikrav (Swedisol, 2009).

Med tanke på det nyss skrivna påståendet kan det tyckas onödigt att räkna ut ett U_m -värde, om normens isoleringsrekommendationer används. Kravet kommer ju avklaras galant! Men det är viktigt att komma ihåg att U_m behövs för att dels räkna ut den specifika energianvändningen, och dels för att dimensionera effektbehovet för den utrustning som används för byggnadens uppvärmning.

Formeln för att räkna ut U_m ses nedan, med en förklaring av ingående termer. Den första termen är summan av alla transmissionsförluster genom klimatskärmen, multiplicerade med dess innerarea A_i . Andra termen innehåller summan av alla linjära köldbryggor. Den tredje och avslutande termen är summan av alla punktformiga köldbryggor. Dessa kan i princip alltid försummas, men de ger dock störst sänkning av ytemperaturen på insidan.

$$U_m = \frac{\left(\sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \psi_k + \sum_{j=1}^p \chi_j \right)}{A_{om}} \quad (3.1)$$

- U_m - Värmeegenomgångskoefficient för byggnadsdel i $W/m^2 \cdot K$.
- A_i - Arean för en byggnadsdels (i) yta mot uppvärmd inneluft. För fönster, dörrar, portar och dylikt beräknas A_i med karmyttermått.
- ψ_k - Värmeegenomgångskoefficienten för den linjära köldbryggan k i $W/m \cdot K$.
- l_k - Längden mot uppvärmd inneluft av den linjära köldbryggan k i m.
- X_j - Värmeegenomgångskoefficienten för den punktformiga köldbryggan j i W/K .
- A_{om} - Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft i m^2 .

3.1.2 Beräkningsprogram

Inverkan av linjära köldbryggor uttrycks med ett ψ -värde vilket anger värmeegenomgångskoefficienten i $W/m \cdot K$. Punktformiga köldbryggor anges med ett χ -värde i W/K . Beräkningar av dessa värden är svåra att göra för hand och fordrar beräkningsprogram. Exempel på beräkningsprogram som kan användas är HEAT 2 eller 3, Comsol Multiphysics, UNorm eller Isover Energi 2.

I denna studie har UNorm valts som beräkningsprogram, och valdes då det var det mest lätthanterliga programmet av de jag tittade på. Det är lätt att lära sig då det dels finns ett mycket värdefullt hjälpsnitt och dels demo-fall på olika knutpunkter, med förklaringar kring hur programmet går till väga. Det är väldigt enkelt att rita upp sina modeller, och det går fort att ändra i modellerna om något gjorts fel eller om små justeringar behöver göras. Programmet är väl uppbyggt och tas bara tid att gå igenom demo-fallen och lära sig grunderna i programmet, kommer det gå bra att bruka programmet.

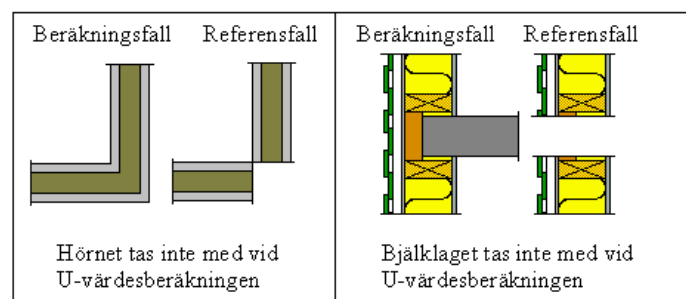
Övriga program jag tittade på såsom HEAT 2 och 3, Comsol Multiphysics och Isover Energi 2, var antingen för komplicerade eller dyra att använda. Comsol Multiphysics rekommenderas, av en lektor på Umeå Universitet, att låta inläras under ca två veckors tid. Det kändes på tok för länge att ägna inläring av ett sådant program under så lång tid, då jag inte heller kunde räkna med handledning. HEAT 2 och 3 krävde också en längre inläring och kändes komplicerat. Jag kände inte att jag kunde

göra denna studie rättvisa om jag inte lärde mig programmet till 100 %. Isover Energi 2 var ett lätthanterligt program, men kostade däremot en rätt stor summa pengar. I jämförelse med UNorm, som är gratis, räckte det inte till.

Metoder för beräkning av ψ - och χ -värden finns i standarden SS-EN ISO 10211. I Swedisols egen publikation *Isolerguiden Bygg 06:1* finns förenklade metoder för beräkning av ψ -värden för vanliga typer av köldbryggor.

UNorm är ett beräkningsprogram för U- och ψ -värden i två- och tredimensionella köldbryggor. Programmet är skapat av byggnadsfysikexperten, och numera, konsulten Gunnar Anderlind (Gunnar A, 2009). Programmet kan beräkna ψ -värden för en hel del olika typer av hörn och knutpunkter. I programmet går det att bygga upp egna modeller och ange de material och tillhörande λ -värden, samt randvillkor som gäller för modellen. Randvillkoren anges i snitten och runt kanterna på modellen, och anger värmemotstånd i uppvärmda eller ouppvärmda utrymmen. Snitten tas med fördel i en symmetrisk punkt, där värmeflödet är noll.

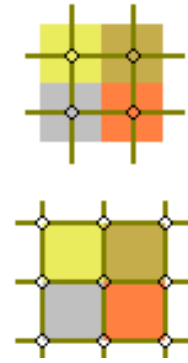
Programmet arbetar med ett beräkningsfall och referensfall vid beräkning av ψ -värden, figur 3.1. Beräkningsfallet ska likna verkligheten så mycket som möjligt i uppbyggnad, medan referensfallet ska likna den konstruktion som U-värdet beräknas på. UNorm beräknar ett värmeflöde för respektive fall efter att all indata blivit inmatad. Skillnaden mellan värmeflödena dividerat med temperaturskillnaden mellan inne- och utetemperatur, ger det ψ -värde som önskas. Ett minsta värde för yttemperaturen på insidan erhålls dessutom.



Figur 3.1. Skillnaden mellan beräkningsfall och referensfall i programmet UNorm (UNorm version 2009-4).

Beräkningarna i programmet går till på så sätt att modellen som byggs upp delas upp i celler. I varje cell bestäms en temperatur, och punkten där temperaturen beräknas kallas för nod. Mellan noderna skapas värmeledande stänger som har likadan värmeledningsförmåga som materialen har. Det finns två olika sätt att placera noderna på; dels i mitten av cellen och dels i hörnet av cellen, figur

3.2. På det här viset fås ett utmärkt resultat även med ett få antal celler. Antalet celler kan väljas mellan ett par hundratal och ända upp mot 40 000, men skillnaden i värmefflöde är obetydligt liten. Endast 0,4 % skiljer i värmefflöde mellan lägst och högst antal celler. I UNorm används ca 400 celler till de tvådimensionella beräkningarna och ca 1600 celler till de tredimensionella.



Figur 3.2. De små cirkelarna i figurerna är noder. Figurerna visar hur noderna kan placeras i celler (de färgade fyrkanterna) (UNorm version 2009-4).

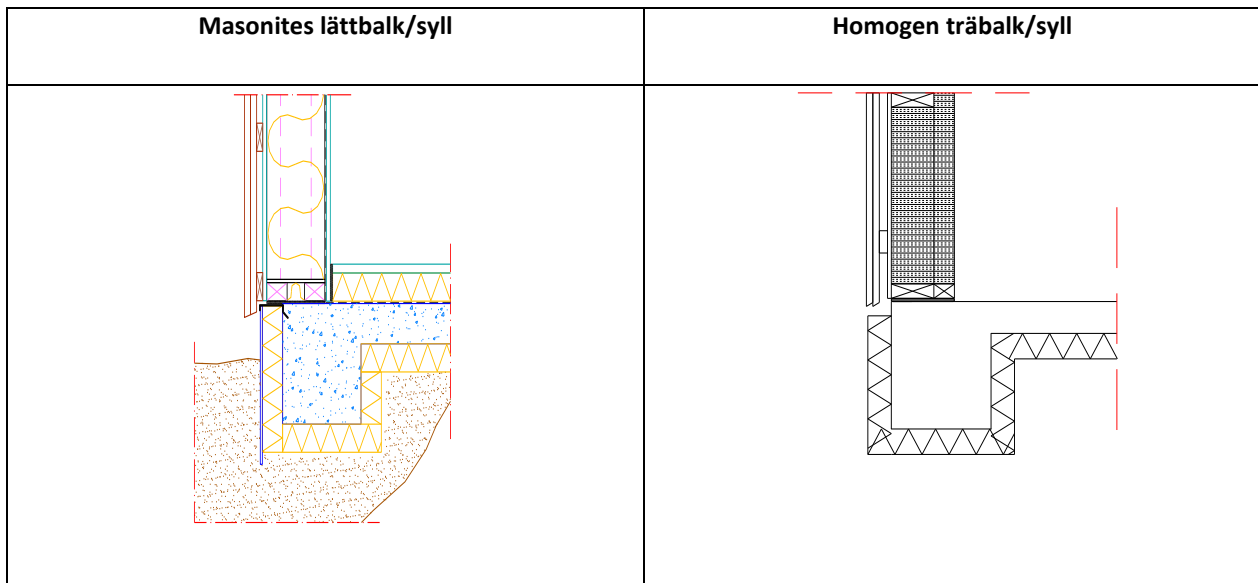
3.2 Utformning av jämförda knutpunkter och hörn

Utformning av knutpunkter och hörn kan se ut på lite olika sätt. Masonite har en del olika typlösningar för bland annat ytterväggshörn. Jag har nedan jämfört en lösning av en knutpunkt eller ett hörn med Masonites egen lättbalk, med en lösning med homogen träbalk. Denna jämförelse visar i hög grad hur det kan skilja mellan de båda fallen i uppbyggnad. Notera den minskade köldbryggan i form av Masonites smala balkliv.

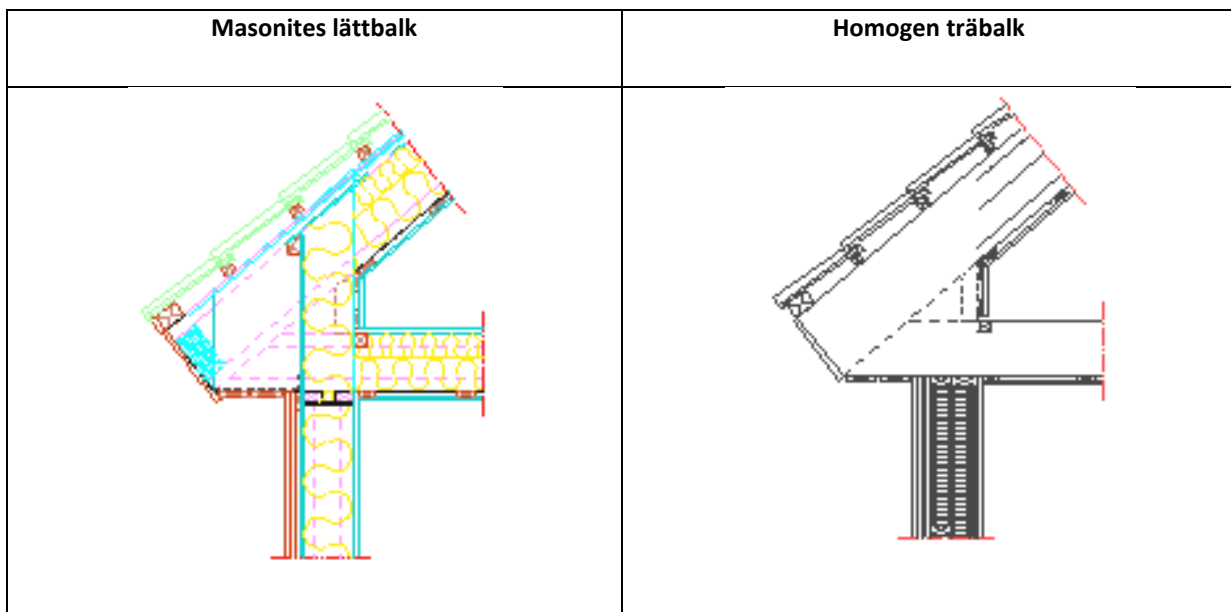
Exempel 1 – Fönsteranslutning

Masonites lättbalk/syll	Homogen träbalk/syll

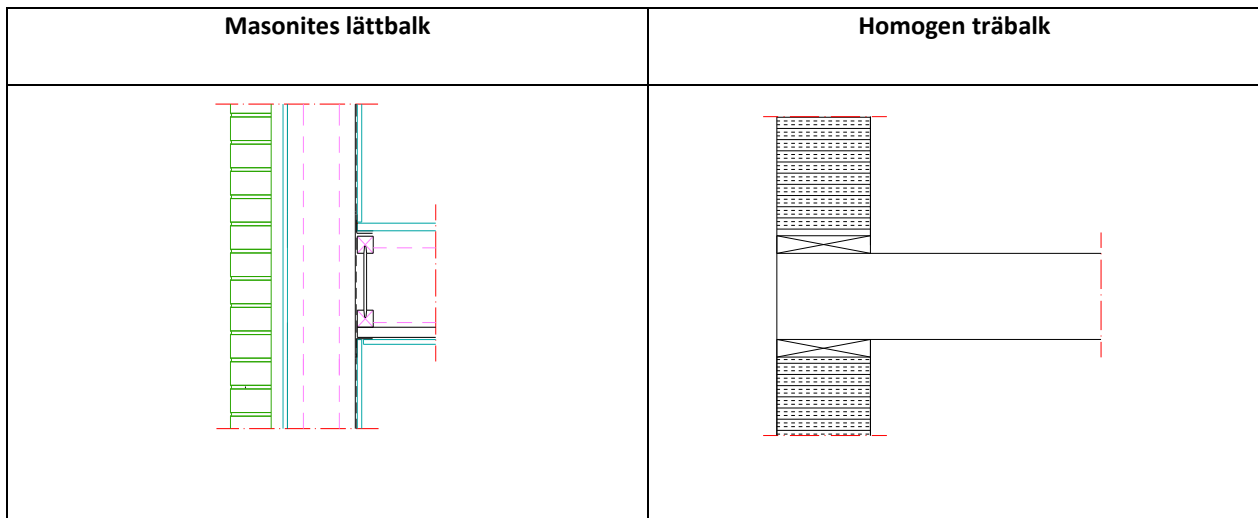
Exempel 2 – Anslutning mellan vägg och platta på mark



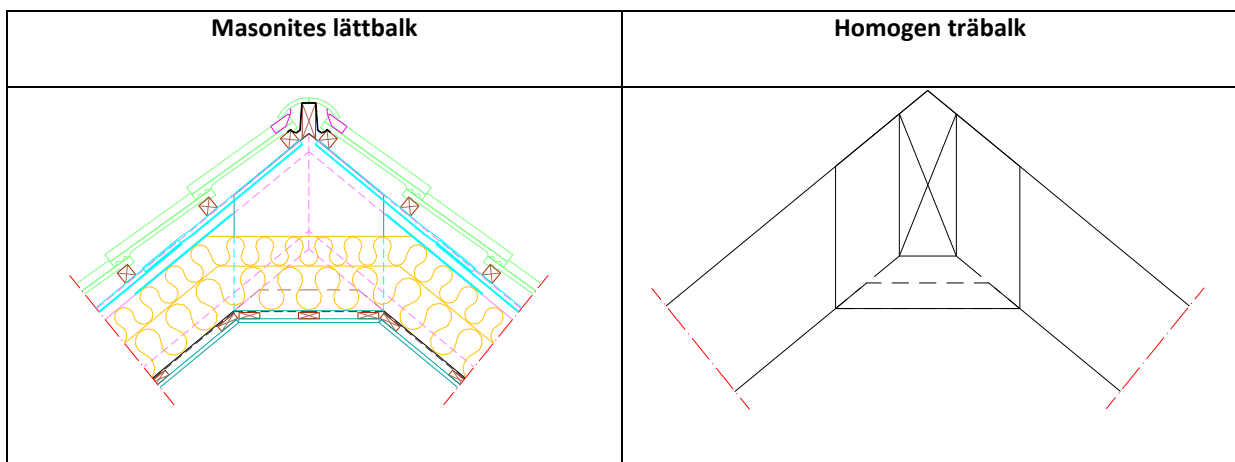
Exempel 3 – Anslutning mellan tak och vägg



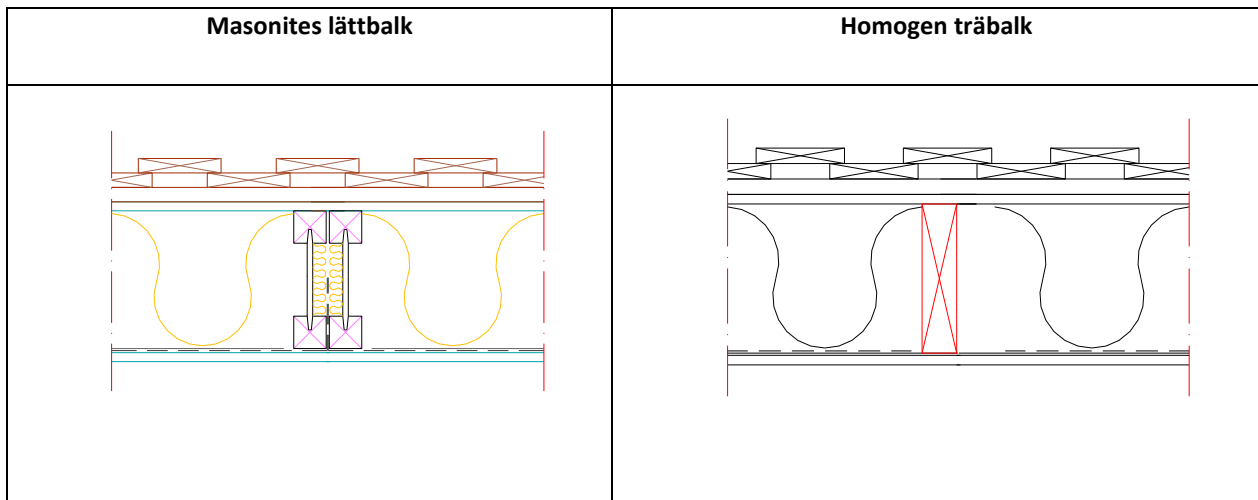
Exempel 4 – Anslutning mellan bjälklag och vägg



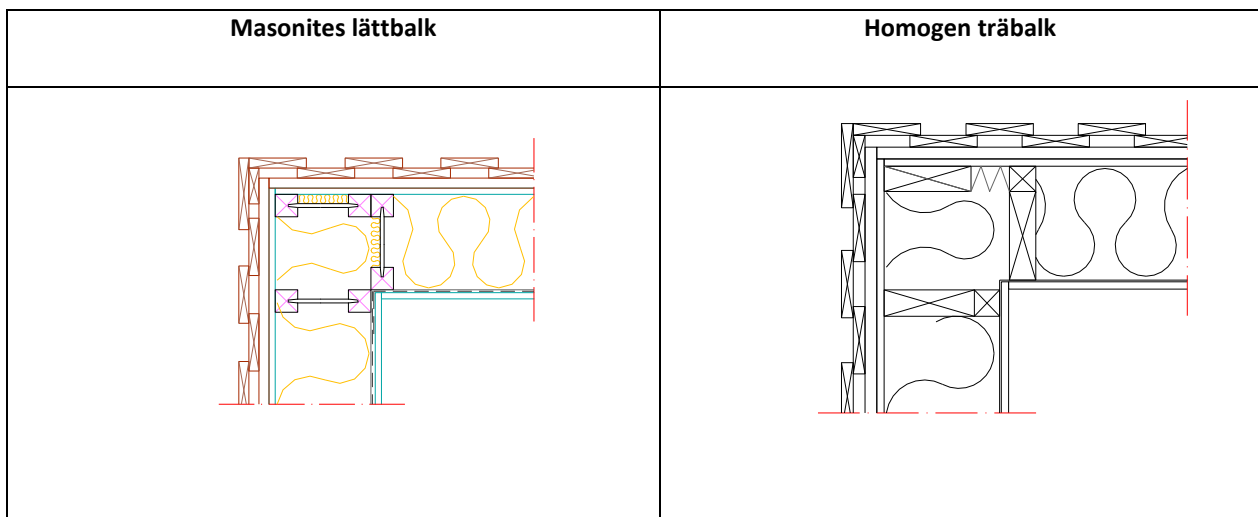
Exempel 5 – Nockanslutning



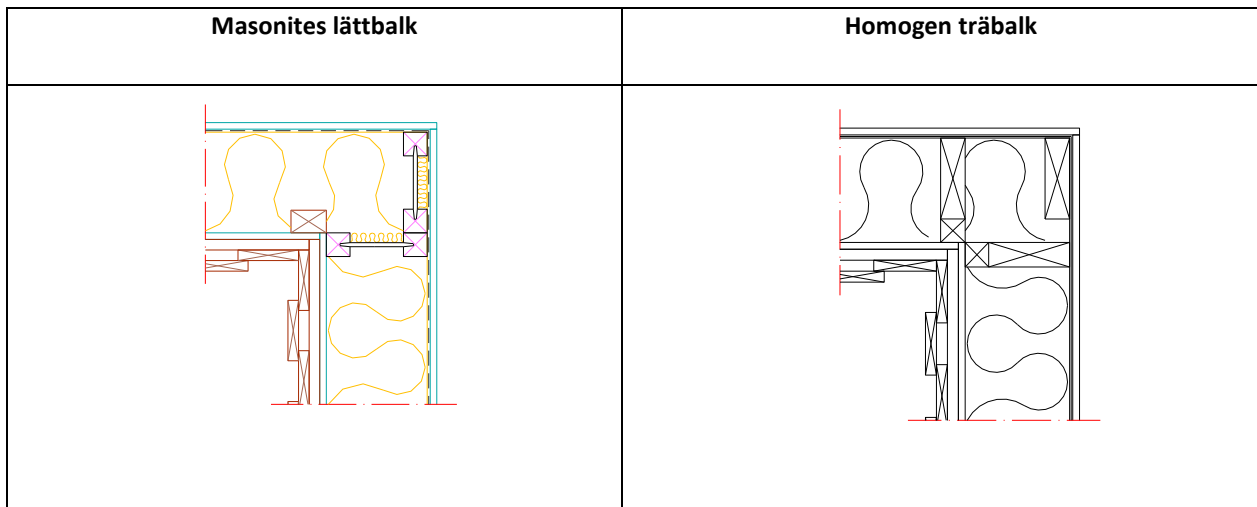
Exempel 6 – Anslutning mellan två väggelement



Exempel 7 – Ytterhörn, yttervägg



Exempel 8 – Innerhörn, yttervägg



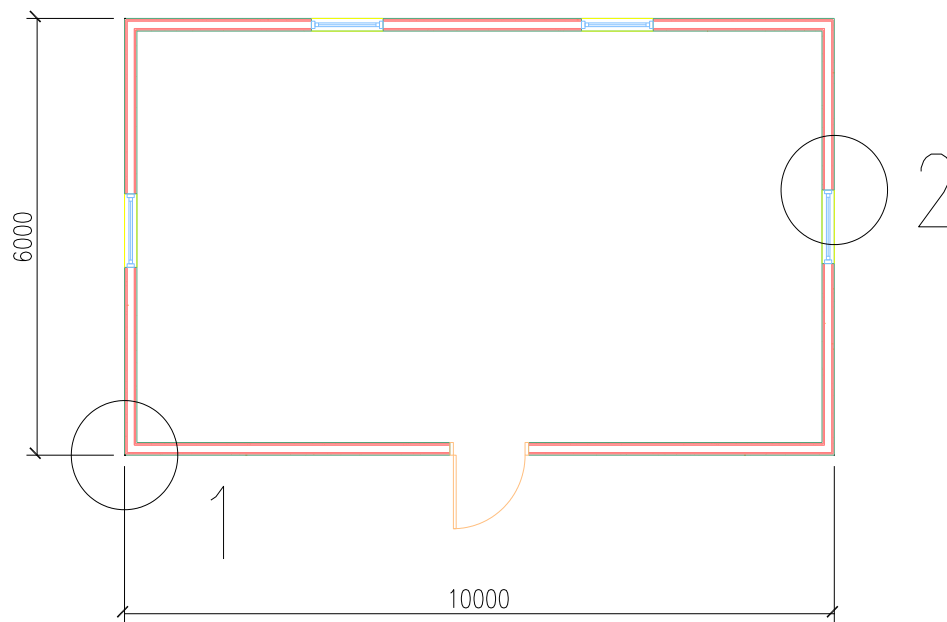
Av dessa åtta typer av köldbryggor kommer fyra stycken att ingå i beräkningar som följer i kapitel 4. Dessa är utvalda i samråd med Masonite, utifrån de som är mest intressanta och mest lämpliga för beräkningar. Dessa fyra köldbryggor är:

- Fönsteranslutning mot vägg – exempel 1
- Anslutning mellan vägg och platta på mark – exempel 2
- Bjälklagsskarv – exempel 4
- Ytterhörn, yttervägg – exempel 7

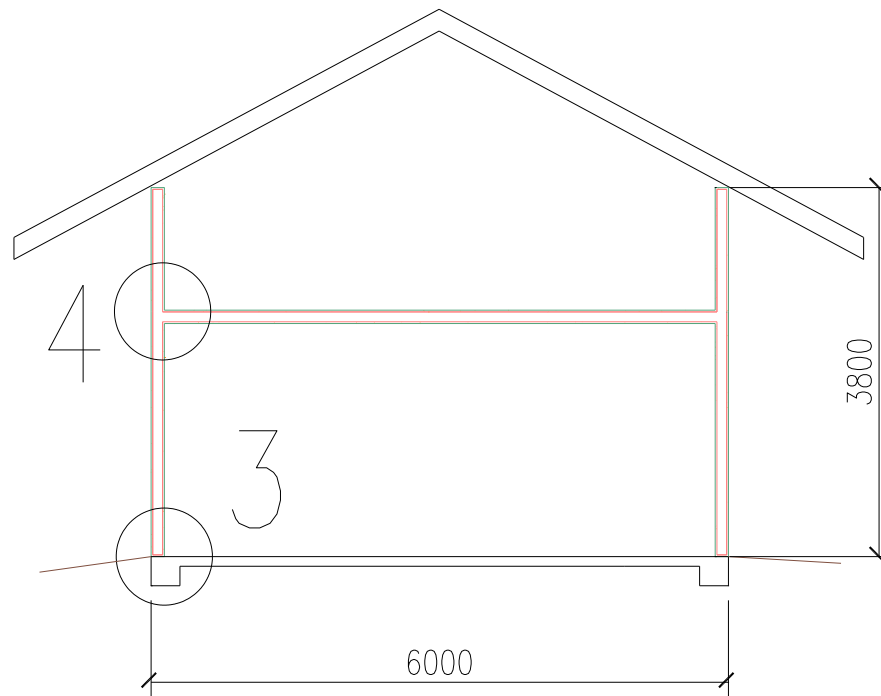
4 Resultat

4.1 Genomförda beräkningar av köldbryggor

Beräkningar har utförts på ett typhus som jag gett måtten $6 \times 10 \times 3,8 \text{ m}^3$. Huset är en $1\frac{1}{2}$ -plansvilla och är placerad i Umeå. Huset har fyra fönster med måtten $1 \times 1 \text{ m}^2$, samt en dörr med måtten $1,2 \times 2,2 \text{ m}^2$, figurer 4.1 och 4.2. Beräkningarna har utförts med hänsyn till fyra kända geometriska köldbryggor. Eventuella konstruktiva köldbryggor har inte beaktats, men ingår i klimatskärmens U-värden. På så sätt kommer även de med i beräkningen för den genomsnittliga värmeledningkoefficienten, U_m . Se beräkningar längre ner.



Figur 4.1. Planritning av typhus med betraktade köldbryggor inringade.



Figur 4.2. Sektionsritning av typhus med betraktade köldbryggor inringade.

Nedan följer en rad beräkningar av U_m -värden och transmissionsförluster. I tabell 4.1 är de angripna köldbryggorna uppräddade, och där går att utläsa ψ -värden för dem och skillnad i % mellan de två fallen:

1. Masonites lättbalk/lättregel
2. Homogen träbalk/träregel

Det bör påpekas att väggar, golv och tak är av samma material som köldbryggorna i respektive fall. Så villorna i beräkningarna är uppbyggda med endast lättbalk respektive endast homogen träbalk. På så sätt skiljer villorna sig åt genom olika U -värden i vägg, tak och golv, samt olika uppbyggnad på köldbryggorna. I U -värdena ingår som tidigare beskrivits, de konstruktiva köldbryggorna, som t.ex. genomgående regler, men de beaktas inte på något närmare sätt.

Skillnaden i % anger hur mycket mindre köldbrygga Masonites lättbalk ger, gentemot den homogena träbalken. I *Bilagor* i slutet av denna studie finns bilder från programmet UNorm på de köldbryggor som nämns nedan.

$$\text{Omkrets } O = 32 \text{ m} \quad (4.1)$$

$$\text{Golvarea } A = 60 \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

$$A_{om} = 60 + 121,6 + 4 + 2,64 + 60 = 248,24 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

Tabell 4.1

Köldbryggor	Värmeövergångskoefficient, Ψ (W/m ² ·K)		Skillnad i %
	1. Masonites lättbalk	2. Homogen träregel	
1 – Ytterhörn, yttervägg	0,0272	0,0334	18,6 %
2 – Fönsteranslutning	0,0144	0,0338	57,4 %
3 – Anslutning mellan vägg och platta på mark	0,1471	0,1475	0,3 %
4 – Anslutning mellan bjälklag och vägg	0,0468	0,0633	26,1 %

Genomsnittlig värmeövergångskoefficient, U_m för byggnaden:

$$U_m = \frac{(\sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \psi_k + \sum_{j=1}^p \chi_j)}{A_{om}} \quad (4.4)$$

I nedanstående beräkningar är U-värden bestämda för golv, vägg, tak samt fönster och dörrar. U-värden för tak och vägg är tagna från Masonites egna beräkningar, för båda fallen. För de övriga är värden tagna ur BBR 16, avsnitt 9.

1. Masonites lättbalk:

$$U_m = \frac{(\sum_{i=1}^n (0,081 \times 60 + 0,184 \times 121,6 + 1,3 \times 4 + 1,3 \times 2,64 + 0,15 \times 60) + \sum_{k=1}^m (0,0468 \times 32 + 0,0144 \times 21,6 + 0,0272 \times 15,2 + 0,1471 \times 32) + \sum_{j=1}^p 0)}{248,24}$$

$$= 0,209 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

(4.5)

2. Homogen träbalk:

$$U_m = \frac{(\sum_{i=1}^n (0,125 \times 60 + 0,203 \times 121,6 + 1,3 \times 4 + 1,3 \times 2,64 + 0,15 \times 60) + \sum_{k=1}^m (0,0633 \times 32 + 0,0338 \times 21,6 + 0,0334 \times 15,2 + 0,1475 \times 32) + \sum_{j=1}^p 0)}{248,24}$$

$$= 0,233 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

(4.6)

Transmissionsförlusterna beräknas enligt följande ekvation (UmU, 2009):

$$Q_{trans} = U_m \times A_{om} \times G \quad (4.7)$$

Q_{trans} – transmissionsförlust för byggnaden (kWh/år)

U_m – genomsnittlig värmegenomgångskoefficient ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

A_{om} – sammanlagd area av omslutande byggnadsdelar (m^2)

G – antalet gradtimmar per år för orten i fråga ($\text{K} \cdot \text{h}$)

Antalet gradtimmar är fortfarande okänt men beräknas nedan:

1. Masonites lättbalk:

$$G = (T_i - T_{u,medel}) \times 24 \times 365 = (T_i - T_{u,medel}) \times 8760 \text{ K} \cdot h \quad (4.8)$$

Inomhustemperaturen sätts till 20°C. Årsmedeltemperaturen i Umeå är 3,4°C (Peterson, 2004).

$$T_i = 20^\circ\text{C} \quad (4.9)$$

$$T_{u,medel} = 3,4^\circ\text{C} \quad (4.10)$$

$$G = (20 - 3,4) \times 8760 = 145\,416 \text{ K} \cdot h \quad (4.11)$$

Transmissionsförlusten för en byggnad uppbyggd med Masonites lättbalk blir då:

$$Q_{trans} = 0,209 \times 248,24 \times 145\,416 = 7\,531,9 \text{ kWh/år} \quad (4.12)$$

2. Homogen träbalk:

Transmissionsförlusten för en byggnad uppbyggd med homogen träbalk blir då:

$$Q_{trans} = 0,233 \times 248,24 \times 145\,416 = 8\,403,5 \text{ kWh/år} \quad (4.13)$$

Skillnaden mellan dessa båda fall blir då, uttryckt i kWh/år:

$$Q_{trans,diff} = 8\,403,5 - 7\,531,9 = 871,6 \text{ kWh/år} \quad (4.14)$$

Skillnaden uttryckt i procent är:

$$Q_{trans,diff} = \frac{8\,403,5 - 7\,531,9}{8\,403,5} = 10,4 \% \quad (4.15)$$

I beräkningarna tas endast hänsyn till fyra typer av köldbryggor. Det finns ju ett flertal köldbryggor som inte blivit medräknade. Men en klar bild går att utläsa ur dessa beräkningar och det är att Masonites lättbalk är bättre ur köldbryggsynpunkt, än en vanlig homogen träbalk. Det går att spara en hel del pengar genom att bygga med Masonites lättbalkar. Det gäller dock att konstruktionen görs på rätt sätt, så att inga oväntade köldbryggor dyker upp. Samtliga aktörer inom byggprocessen har ett ansvar att se till att det blir rätt i slutändan.

5 Diskussion och slutsats

Till att börja med tänkte jag ta upp resultaten för de syften jag angav i början av den här rapporten. Jag hittade en beräkningsmetod för köldbryggor för Masonites lättbalk, i beräkningsprogrammet UNorm. Det visade sig vara bättre än vad jag trodde. Enkelheten i programmet ställde till en början tvivel kring om det verkligen var pålitligt till 100 %. Men efter att ha använt och lärt mig UNorm i hög utsträckning känner jag numera inga tvivel. Det är ett väl genomarbetat program som står under utveckling. Min förhoppning, och Masonites mål, är att de fortsättningsvis kan utnyttja UNorm vid framtida beräkningar av köldbryggor.

I syftet angavs att undersöka hur köldbryggor påverkar en byggnads energianvändning. Min bestämda åsikt är att köldbryggor har en tydlig påverkan. De är möjliga att kontrollera eller förhindra, bara kunskapen finns kring deras uppkomst och funktion. En bra utförd konstruktion av en knutpunkt eller ett hörn kan spara mycket pengar och energi, vilket jag har beskrivit i denna studie. Detta beskrivs dels i kapitel 4 genom de beräkningar av köldbryggor som finns där, samt i form av utformning av knutpunkter som går att läsa under kapitel 2.1.2 – Utformning av knutpunkter och hörn. Intressant är även att jämföra mina resultat med den beräkning som Sweco Theorells gjort åt Masonite för ett par år sedan. Där visade beräkningarna på en 5- till 9-procentig besparing i energianvändning, i jämförelse mellan en byggnad uppbyggd med Masonites lättbalk och en likadan med homogen träbalk, till Masonites fördel. Mina beräkningar visar på en procentsats på ca 10 %, vid liknande typ av jämförelse. Umeå, som var orten för beräkning i mitt fall, hade det minsta värdet i Swecos beräkningar, 5 %. Varför det skiljer 5 % mellan min och Swecos beräkning är svårt att säga, då jag inte vet hur de tagit hänsyn till köldbryggor. Det kan skilja en del till exempel genom val av väggtyp eller bjälklagsanslutning. Men det är som sagt svårt att ge ett direkt svar, då jag inte är insatt i Swecos utförande av beräkningarna.

I syftet ingick även att ta fram de krav som ställs på knutpunkter och hörn ur täthetssynpunkt. Några direkta krav finns inte på täthet för en byggnad, då det överliggande kravet på energihushållning kan uppnås på andra sätt. Men att se till att en byggnad är tät är en viktig del i sammanhanget om köldbryggor ska undvikas och en energieffektiv byggnad efterfrågas. Att utföra en

byggnad tät beskrivs utförligt i kapitel 2.2.3 – Tätning av knutpunkter och hörn, men det tas även upp under kapitel 2.1.2 – Utformning av knutpunkter och hörn.

Ett påstående enligt Isover (2007) att köldbryggor har en inverkan på de totala transmissionsförlusterna på ca 20-30 %. Enligt mina beräkningar har köldbryggorna en inverkan på ca 15 %, vilket kan anses vara rimligt då jag inte tagit hänsyn till alla köldbryggor i byggnaden. Det anser jag därmed vara korrekt och jag hoppas att byggföretag, om de inte redan gör det, tar köldbryggor på allvar. Då Boverket höjt energikraven de senaste åren är köldbryggor en viktig faktor att ta i anspråk för att kunna leva upp till dessa krav. Sannerligen kommer kraven höjas än mer i framtiden, då begrepp som "passivhus" och "lågenergihus" börjar bli allt vanligare. Det är på tiden, anser jag, då tekniken för att bygga passivhus funnits sedan 70-talet.

En diskussion som är intressant att ta upp är beräkningarnas tillförlitlighet. Jag har under arbetets gång upptäckt att det kan vara svårt att jämföra beräkningar med standardvärden för köldbryggors ψ -värden, eftersom uppbyggnaden av aktuell bygnadsdel allt som oftast inte liknar varandra i jämförelse. Dock har en liten ändring på säg, några procent, på ett ψ -värde minimal betydelse för en helhetsbedömning på köldbryggornas inverkan. Med tanke på uppförande av byggnad och den mänskliga faktorn och andra eventuella oväntade faktorer som kan uppkomma på en byggarbetsplats, så bör ett värde inom rimlig noggrannhet accepteras. I huvudsak gäller att byggherren och byggtreprenören har vetskap om eventuella brister i klimatskärmen, som kan uppkomma eller redan uppkommit, och att de som ska utföra uppförandet av byggnaden ges den information som krävs.

Ovanstående diskussion kring tillförlitlighet och teoretisk och praktisk jämförelse diskuteras även av andra. I Isolerguiden Bygg 06:1 skriver författarna, Gunnar Anderlind och Claes-Göran Stadler, om att även om de teoretiska beräkningarna av värmeförluster är helt korrekta, kan resultatet skilja jämfört med verkligheten. De skriver att det i första hand är brukaren av byggnaden, som bestämmer den verkliga energiåtgången, vilket jag tycker är helt logiskt. Men ett fackmannamässigt utförande av byggnaden är också väldigt viktigt. Arbetet ska således utföras både rätt och noggrant, skriver de (Swedisol, 2009).

En viktig fråga som ställdes i syftet var hur köldbryggor används i energiberäkningar. Det anser jag mig fått svar på genom min intervju med Åke Andersson på Bjerking AB. Han gav en hel del intressanta svar på de frågor jag ställde, och den uppfattning jag hade om beräkning av köldbryggor stämde rätt bra med Åkes svar. Nu var ju detta bara ett företags svar på frågan, men jag gissar att det ser snarlikt ut bland många andra liknande företag. Det jag tyckte var särskilt intressant av de Åke berättade om, var att de vid noggranna beräkningar skapar modeller i beräkningsprogrammet HEAT 3 och på så sätt får reda på psi-värden m.m. Det är ju på detta sätt jag gjort i denna studie, och alltså ligger jag inte särskilt långt ifrån verkligheten med mitt arbete. Ett annat intressant svar jag fick från Åke var att de ersätter köldbryggor i energiberäkningar med en procentsats på 20 %, vid de fall då detaljerna kring köldbryggorna är för dåliga. Genom att ersätta köldbryggor på det här sättet beaktas inte olikheter i olika material med avseende på köldbryggor. Genom detta godtyckliga antagande jämföras till exempel Masonites lättbalk med homogen träbalk. Detta är en tydlig nackdel, vilket kan ge missvisande resultat vad gäller köldbryggornas påverkan. Är betydelsen av köldbryggor högt prioriterat och det saknas tillräckliga detaljer kring dessa, bör detta ordnas av ansvariga.

I "Utformningar av jämförda knutpunkter och hörn" under kapitel 3 i denna studie går det att se jämförelser mellan olika typer av utformningar med i ena fallet Masonites lättbalk och i andra fallet homogen träbalk. Ett bra jämförelseexempel är exempel 4, som visar en bjälklagsanslutning med båda fallen. Som synes löper inte bjälklaget genom ytterväggen i exemplet med Masonites lättbalk (det vänstra), vilket det gör i fallet med den homogena träbalken. Nu skall det dock nämnas att detta fall är ett riktigt dåligt exempel på en bjälklagsanslutning, och att det är möjligt att göra en bättre anslutning med homogen träbalk, men i detta fall var jag framförallt ute efter att jämföra anslutningarna som sådana. Köldbryggan i detta exempel minskar rejält med den vänstra anslutningen. Upphängningen i fallet med Masonites lättbalk sker med hjälp av bjälklagshängare, som fästs i väggblocken.

En intressant diskussion är den kring de resultat på psi-värden som går att utläsa ur tabell 4.1, i denna studie. Skillnaden i procent mellan de olika fallen skiljer som synes mycket åt. Särskilt skiljer det åt i exempel 2 och 3. Exempel 2 gäller köldbryggan vid en fönsteranslutning, och visar på en stor skillnad i psi-värde mellan de jämförda fallen. Jag tror att skillnaden blir så stor, eftersom en uppenbar köldbrygga förminskas rejält i fallet med Masonites lättbalk. Se gärna exempel 1 under kapitel 3.2. Exempel 3 som gäller anslutning vid platta på mark skiljer med endast 0,3 % mellan de båda fallen, och skillnaden är på så sätt i det närmaste försumbar. I detta fall tror jag att det beror på att värmeflödet genom väggen till plattan är litet, och på så sätt spelar syllens utseende mindre roll.

Detta baserar jag på beräkningsprogrammet UNorms siffror för detta beräkningsexempel. Skillnaden på siffrorna ur tabell 4.1 visar på att vissa köldbryggor skiljer mer i jämförelse än andra, vilket kan vara betydelsefullt att ta med sig vid liknande beräkningar.

Masonites lättbalk visade sig vara bättre ur köldbryggs- och energisynpunkt i jämförelse med homogen träbalk. I ett relativt normalstort hus på $6 \times 10 \times 3,8 \text{ m}^3$ fås 10,4 % mindre transmissionsförluster genom att bygga med Masonites lättbalk i jämförelse med homogen träbalk. Det är dock viktigt att påpeka att utan ett rätt utförande är val av rätt byggnadsmaterial mer eller mindre obetydligt.

Fortsatta studier inom detta område tror jag skulle vara att lära sig ett något mer avancerat beräkningsprogram, som kan ge lite mer information kring värmeflödet och dess utseende. Då tänker jag framförallt på HEAT 3, som är bevisat att det används i företag för beräkning av köldbryggor. Att utföra en verklig täthetsprovning av en byggnad enligt blower door-metoden vore också väldigt intressant. Särskilt intressant vore det med komplettering av en värmekamera, för att kunna se var värmeförlusterna är som störst. Intressant vore även att göra en utförlig beräkning av ett färdigbyggt hus, där husets alla köldbryggor beaktas.

Ett val av en annan metod hade i mitt fall kunnat exempelvis vara ett annat beräkningsprogram. Bland de beräkningsprogram jag nämnt i kapitel 3, så tror jag mest på HEAT 3 som jag redan nämnt i detta diskussionskapitel. Första anblicken av programmet kändes bra, men jag ansåg att det var för krångligt att lära sig alldeles själv. Mitt mål då var att hitta ett enkelt och lättförståeligt beräkningsprogram för att kunna utföra beräkningar av köldbryggor. Det fann jag i UNorm och jag tycker det genomgående har varit ett riktigt bra program. Det finns vissa saker som jag gärna hade sett inkluderade i programmet, såsom möjligheten att kunna göra diagonala modeller och en standard för lättbalkar vid skapande av modeller. Programmet är under ständig utveckling och jag tror säkerligen att mina önskemål kommer uppfyllas i sinom tid.

Min förhoppning är att Masonite genom detta arbete kommer att kunna dra nytta av mina beräkningar och använda UNorm som ett hjälpmedel i framtida beräkningar av köldbryggor. Denna studie är en liten del i MIKS-projektet, som jag kan rekommendera alla läsare att följa i framtiden.

6 Litteraturförteckning

Böcker och häften

BBR B (2008). Boverket; *Regelsamling för byggande – BBR BFS 1993:57 med ändringar till och med 2008:6*, Sveriges Byggindustrier

Boverket (1989); *Värmeisolering – värmegenomgångskoefficienter för byggnadsdelar och köldbryggor, tjälfri nivå*, Allmänna Förlaget, Stockholm

Elmroth, Arne (2007); *Energihushållning och värmeisolering*, AB Svensk Byggtjänst och författaren, Vällingby

Hamrin, Gösta (2003); *Byggteknik – Del B: Byggnadsfysik*, AMG Hamrin

Isover (2007). Saint-Gobain Isover AB; *IsoverBoken, 2007-09*, Billesholm

Isover (2009). Saint-Gobain Isover AB; *System för lufttätethet och fuktsäkerhet, 2009-03*, Billesholm

Nevander, Lars-Erik och Elmarsson, Bengt (1994); *Fukthandbok – praktik och teori*, AB Svensk Byggtjänst och författarna, Mölnlycke

Peterson, Bengt-Åke (2004); *Tillämpad byggnadsfysik*, Bengt-Åke Peterson och Studentlitteratur, Lund

Sandin, Kenneth (1989); *Fukt och värme*, Kenneth Sandin och ESSELTE STUDIUM AB, Lund

Warfvinge, Catarina (2007); *Installationsteknik AK för V*, Catarina Warfvinge och Studentlitteratur, Lund

Program

UNorm version 2009-4 (2009). Skapat av Gunnar Anderlind. Kan hämtas på

www.gadbyggnadsfysik.se.

Muntliga källor

Andersson (augusti 2009). Intervju per telefon med Åke Andersson på Bjerking AB.

Gustafsson (april 2009). Intervju per telefon med Anders Gustafsson på SP Träteknik.

Internet

BBR A (2009).

http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2008/regelsamling_for_byggande_bbr_2008_supplement_avsnitt_9.pdf 2009-05-15

Betongvaruindustrin (2009). <http://www.betongvaruindustrin.se/BookPDFs/BookChapter148.pdf>
2009-08-25

Boverket (2009). <http://www.boverket.se/Kontakta-oss/Fragor-och-svar/Bygg-och-konstruktionsregler/Om-avsnitt-9-i-BBR/Energikrav/> 2009-06-10

Byggmagroup (2009). http://www.byggmagroup.se/dt_article.aspx?m=2461 2009-08-04

Energihandbok (2009). <http://energihandbok.se/x/a/i/10672/Berakning-av-transmissionsforlust-er-fran-byggnader.html> 2009-06-10

Energilotsen (2009). http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_8_entreprenor.pdf 2009-06-04

Expert-air (2009). <http://www.expert-air-purifier-reviews.com/blower-door-test.html> 2009-08-16

Fastighetsägarna (2009). http://www.fastighetsagarna.se/BinaryLoader.axd?OwnerID=4f6a1a79-38b5-4a7d-b8c1-1d82afe47e67&OwnerType=0&PropertyName=File1&FileName=Bilaga_Energiberakning_NyaByggnader.xls 2009-06-04

Gunnar A (2009). www.gadbyggnadsfysik.se 2009-05-02

Metsäliitto (2009). <http://www.metsaliitto.fi/se/default.asp?path=836;895;1235;1253;1254> 2009-06-17

Passivhuscentrum A (2009).

http://www.passivhuscentrum.se/fileadmin/pdf/Kravspecifikation_Passivhus_slutversion_juni_2009_1_juli.pdf 2009-08-15

Passivhuscentrum B (2009). http://www.passivhuscentrum.se/myter_om_passivhus.html 2009-06-04

Rockwool (2009).

<http://www.rockwool.se/inspiration/passivhus+pumpk%c3%a4llehagen/v%c3%a4rt+att+veta+om+p+assivhus/t%c3%a4thet> 2009-08-25

Skellefteåkraft (2009).

<http://www.skekraft.se/default.aspx?di=5252&producttypeid=18&productid=2493&typ=merinfo#flik2> 2009-06-08

Swedisol (2009). <http://www.swedisol.se/graphics/Synkron-Library/Documents/pdf/IsolerguidenBygg06.pdf> 2009-05-20

T-emballage (2009). <http://www.t-emballage.se/produkter#product> 2009-06-10

Trelleborg (2009).

[http://www.trelleborg.com/upload/WP_se/Downloads%20\(pdf%20format\)/Produktbroschyrer/Produktbroschyrer_Byggtätningar_200807.pdf](http://www.trelleborg.com/upload/WP_se/Downloads%20(pdf%20format)/Produktbroschyrer/Produktbroschyrer_Byggtätningar_200807.pdf) 2009-06-10

UmU (2009).

<http://www.tfe.umu.se/courses/byggteknik/kurser/husbyggnadsteknik/planering/Microsoft%20PowerPoint%20-%20Forelasning%206%20nov.pdf> 2009-06-08

7 Bilagor

Bilaga – beräkningar i UNorm

Här nedan följer bilder från beräkningsprogrammet UNorm på beräkningarna av de fyra köldbryggor som beräknats för Masonites räkning. Bilderna visar köldbryggor uppbyggda med Masonites lättbalk/lättregel. Psi-värdet går att utläsa i bildens nedre högerkant. Där går även minsta yttemperatur på insidan att utläsa, samt värmeflöden för beräkningsfall (övre figur) respektive referensfall (nedre figur). Beräkningarna är i alla fall tvådimensionella, förutom i exemplet med mellanbjälklaget. Där är beräkningarna tredimensionella.

Namn: Ritning 1 - Ytterhörn med lättreglar

Mått: x → 0,6 0,020 0,006 0,007 0,013 0,047 0,126 0,047 0,013
 meter y ↓ 0,6 0,020 0,006 0,007 0,013 0,047 0,126 0,020 0,006 0,020 0,013

Material: Hjälp Aktivera
 Byt λ Ändra Hämta
 Namn λ
 Isolering .036 0,036
 0,034
 0,035
 Isolering .036 0,036
 0,037
 0,038
 0,09
 0,045
 0,12
 0,14
 Trä 0,14
 Boardliv 0,13
 Gipskva 0,22
 0,6
 1
 1,7
 17
 50
 Inneluft / Uteluft -
 Innesluten luft -

Randvillkor:
 Hjälp Norr
 Väster Öster Söder

R	Temp	
0,13	20	Uppvärmat utrymme
0,1	20	
0,17	20	
0,13	0	Icke Uppvärmat utrymme
	0	
	0	

Värmeflöde = 0
 Visa alla randvillkor

Exempel:
 0,033
 0,037
 70
 145
 = Tillkommande extra regel i hörn som inte tagits med i U-värdesberäkningen.

Resultat $\Psi = 0,0272$ $T_{ytta} = 18,2660$
 FlödeB = 4,6567+0,0065 FlödeR = 4,1144+0,0031

Ytterhörn med lättreglar.

Fönster/Dörr i träregelvägg med träfasad

Namn: Ritning 2 - fönster m. lättregel

Mått i meter:

x →	0.5	0.0203	0.0064	0.0203															
y ↓	0.004	0.047	0.026	0.019	0.081	0.047	0.013												

Material:

- Aktivera aktuellt fall
- Välj λ -läge med pilarna
- Välj λ -värde med klick här
- Byt λ i gröna fält

Isolering .036 0.036
 0.034
 0.035
 Drevning 0.036
 0.037
 0.038
 0.04
 0.045
 0.12
 0.14
 Trä
 Boardiv 0.13
 Gipskiva 0.22
 0.6
 1
 1.7
 17
 50
 Inneluft / Uteluft -
 Innesluten luft Beräknas

Randvillkor:

Väster Öster Söder

- Välj färgruta och riktning
- Klicka på rand eller på λ

0.13	→	20	Uppvärmat utrymme
0.1		20	
0.17		20	

0.04		0	Icke Uppvärmat utrymme
0.13		0	
		0	

Värmefflöde = 0
 Visa alla randvillkor

Beräkningsfall Modell

Ökat Rse
 Inget värmefflöde

Referensfall
 Ökat Rse
 Inget värmefflöde

Regeln tillhör köldbryggen. Inräknas inte i väggens regelandel.

FlödeB = 1.985 FlödeR = 1.697
 $\Psi = 0.0144$ $T_{yta\ min} = 18.51$

Spara: Hämta

1 1
 2 2
 3 3
 4 4
 5 5
 6 6
 7 7
 8 8
 9 9
 10 10
 11 11
 12 12
 13 13
 14 14
 15 15
 16 16
 17 17
 18 18
 19 19
 20 20

Kopiera
 R R-värde
 Beräkna ,00.. Decimal Rutnärl Återgå

Fönster med lättreglar.

Psi-värde Platta på mark A

Namn: **Ritning 3 - Platta på mark m. lättregelvägg**

Mått i meter: x → 0.2, 0.004, 0.07, 0.01, 0.07, 0.07, 0.013, 0.3, 0.1, 0.2; y ↓ 0.3, 0.008, 0.045, 0.005, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2

Material:

- Aktivera aktuellt fall
- Välj läge med pilarna
- Välj λ-värde med klick här
- Byt λ i gröna fält

Isolering .036	0.036
Mark	2
Cellplast	0.035
Drevning	0.036
	0.037
	0.038
	0.04
	0.045
	0.12
Trä	0.14
Boardsliv	0.13
Gipsskiva	0.22
	0.6
	1
Betong	1.7
	2
	50
Inneluft / Uteluft	-
Innesluten luft	Beräknas

Randvillkor:

Väster Öster Norr Söder

1. Välj färgruta och riktning ↑
2. Klicka på rand eller på ↓

0.13	→	20	Uppvärmat utrymme
0.1		20	
0.17		20	
0.04		0	Icke Uppvärmat utrymme
		0	
		0	

Värmeflöde = 0
 Visa alla randvillkor

Spara:
Spara: 1-19
Hämta: 1-20

Måttet x får vara högst en fjärdedel av husbredden. Det är inte tillåtet att ha en golvbeläggning ovanpå betongplattan. Det kompenseras du genom att ange ett större R_{si}-värde för plattan.

Två referensfall genereras automatiskt. Det ena är väggen med värmeflöde = 0 nedåt. Det andra är plattan, beräknad med hjälp av U-värdet enligt markstandard. Då behövs tre indata (λ, W och R_f) som bestäms av inmatade data ovan samt plattans area A och omkrets P, som du får ange här.

λ	W	R _f	A	P
2.0	0.237	2.916	60.00	32.00

Markens utsträckning ändras automatiskt och beror på kvoten A/P.

Ökat värmeflöde genom väggen ger $\Psi_1 = 0.012$
Ökat värmeflöde genom plattan ger $\Psi_2 = 0.135$

FlödeB = 13.424 FlödeR = 10.483
 $\Psi = 0.1471$ $T_{ytan} = 17.13$

λ: Normala Ångri: Ändra Ö: Hjälpa R: R-värde
Ψ: Beräkna ,00.: Decimal Spegla figur Återgå

Platta på mark med lättregelvägg.

Mellanbjälklag i trä/trätvättvägg 3-dimensionell

Namn: Ritning 4 - mellanbjälklag m. lättbalkar

Mått i meter:

x	0.004	0.0203	0.0064	0.0183	0.002	0.128	0.0318	0.0064	0.0068	0.013	0.012	0.8
y	0.3	0.008	0.023	0.022	0.047	0.146	0.047	0.013	0.032	0.008	0.3	
z	0.265	0.035										

← Klicka här för aktivering av z-nivå

Material:

- Aktivera aktuellt fall
- Välj läge med pilarna
- Välj λ -värde med klick här
- Byt λ i gröna fält

Materiallista (Exempel):

Isolering .036	0.036
Isolering .033	0.033
Isolering .035	0.035
Isolering .036	0.036
Isolering .037	0.037
Isolering .038	0.038
Isolering .04	0.04
Isolering .045	0.045
Isolering .012	0.12
Trä	0.14
Boardliv	0.13
Gipsskiva	0.22
Golvspånskiva	0.18
Inneluft / Uteluft	-
Innesluten luft	Beräknas

Randvillkor:

1. Välj färgruta och riktning →
 2. Klicka på rand eller på för en hel rad eller kolumn eller klicka på för allt.

R	Temp	
0.13	20	Uppvärt utrymme
0.1	20	
0.17	20	
	20	

R	Temp	
0.13	0	Icke Uppvärt utrymme
	0	
	0	
	0	

Wärmeledning = 0
 Visa alla randvillkor

Spara: Hämta:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Diagram:

120 145

0.033

22

225 x 45 balkar c 300

0.036

Beräknas 3-dimensionellt

FlödeB = 0.972 FlödeR = 0.691

Δ Flöde/ Δ T = 0.0141 T_{mitten} = 18.74

⌂ Normalt ↶ Angra ⏏ Hjälp R R-värde
 Ψ Beräkna ,00.. Decimal ⏏ Rutnärl Återgå

Mellanbjälklag med lättbalkar. Notera att det i detta fall inte anges ett psi-värde, utan ett "deltaflöde/gradenhet" (Δ flöde/ Δ T). För att få fram psi-värdet delas Δ flöde/ Δ T med halva centrumavståndet på balkar.