

Materialens betydelse för årlig specifik energianvändning, tillverkningsenergi och livslängd

- En jämförelse mellan fyra småhuskonstruktioner



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggnadsmaterial**

Examensarbete:
Sandra Anderberg
Johanna Strand

© Copyright Sandra Anderberg, Johanna Strand

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2014

Sammanfattning

Byggsektorn står för ca 40% av Sveriges årliga totala energiförbrukning. För att minska denna siffra är ett alternativ att bygga hus som förbrukar mindre energi. Exempel på en sådan hustyp är passivhus och därför är dessa intressanta att studera närmare med avseende på tillverkningsenergi. I rapporten har tre passivhus (Emrahuset, Passivhuset och Ytonghuset) i olika utföranden jämförts tillsammans med ett traditionellt hus (Konventionella huset). De fyra husen har jämförts med varandra med avseende på tre parametrar: årlig specifik energianvändning, tillverkningsenergi och livslängd. Olika konstruktionslösningar har utformats för de fyra husen, med olika material och dimensioner för att kunna undersöka materialets inverkan på energiförbrukningen totalt sett.

Arbetet har genomförts med hjälp av beräkning av årlig specifik energianvändning i datorprogrammet Isover Energi 3, samt insamling av data angående tillverkningsenergi. Tillverkningsenergin har beräknats specifikt för varje hus med avseende på ingående material och dimensioner.

Konventionella huset, konstruerat på BBR:s strängaste krav på U-värde, fick en årlig specifik energianvändning på 68 kWh/m^2 , vilket är 25% mindre än BBR:s krav på specifik energianvändning. De tre passivhusklassificerade husen, konstruerade med krav enligt FEBY 12, fick en årlig specifik energianvändning på 25 kWh/m^2 . Emrahuset, uppbyggt av cellplast och betong, fick lägst tillverkningsenergi (21 945 kWh). Ytonghuset, bestående av enbart lättbetong, fick den högsta tillverkningsenergin (59 750 kWh). Tegel och betong är de material med längst livslängd medan tejp och fogskum för tätning är de material med kortast livslängd. Alla husen hade för- och nackdelar men då alla de tre utvärderade parametrarna vägs samman blir resultaten bäst för Ytonghuset. Detta eftersom den förväntade livslängden överstiger ställda krav, oorganiska material används vilket resulterar i minimal risk för fuktproblem, att använda få material i konstruktionen föredras (färre genomföringar, färre köldbryggor) och ingen plastfolie som riskerar att mista sin lufttätande funktion om den förstörs.

Sammanfattningsvis är inte en låg tillverkningsenergi den långsiktigt bästa investeringen. Viktigt är att beakta materialens beständighet och livslängd, det kan nämligen bli olönsamt att tvingas byta ut konstruktionsdelar som mist sin funktion jämfört med att investera i material med längre livslängd men med en något mer energikrävande tillverkningsprocess.

Nyckelord: passivhus, tillverkningsenergi, specifik energianvändning, U-värde, mineralull, Ytong, cellplast, EPS, årlig specifik energianvändning, byggvarudeklaration, BBR, livslängd.

Abstract

In Sweden, the construction sector accounts for approximately 40% of the total annual energy consumption. In order to reduce that figure, one option is to build houses that consume less energy. Examples of such a building is “low energy houses”, also called passive houses. These houses are therefore interesting to study closer with respect to energy production. This study includes three passive houses (Emrahuset, Passivhuset and Ytonghuset) with different designs. These houses were compared to a conventional house (Konventionella huset), with respect to annual specific energy, manufacturing energy and expected service life. The four houses had different design solutions, with different materials and dimensions in order to investigate the materials' impact on the energy consumption.

The work was done by calculating the annual specific energy use in the computer program Isover Energy 3, and by collecting data related to the manufacturing energy. The manufacturing energy was calculated for each house with respect to the materials and dimensions.

The conventional house, “Konventionella huset”, constructed according to BBR's highest requirements for the coefficient of heat transmission (U-value), was estimated to have an annual specific energy consumption of 68 kWh/m², which is 25% less than the requirements in BBR. The three low energy houses, designed according to the requirements of FEBY 12, was estimated to have an annual specific energy consumption of 25 kWh/m². Emrahuset, constructed of cellular plastic and concrete, had the lowest manufacturing energy (21 945 kWh). Ytonghuset, consisting exclusively of autoclaved aerated concrete, received the highest manufacturing energy (59 750 kWh). When it comes to expected service life, Ytonghuset performed best when considering annual specific energy, manufacturing energy and detailed materials all together.

In summary, a low manufacturing energy is not necessarily the best long-term investment. It is also important to consider the durability of the materials and the expected service life. It might be expensive from an energy point of view, to have to replace the design elements which have lost their function, compared to investing in materials with a better durability, but with a slightly more energy-intensive manufacturing process.

Keywords: passive house, manufacturing energy, energy consumption, coefficient of heat transmission (U-value), mineral wool, Ytong, annual specific energy, building product declaration, BBR, service life.

Förord

Vi vill börja med att tacka våra familjer och vänner för den support dem gett oss under hela examensarbetet. Vi vill rikta ett särskilt tack till vår handledare, Peter Johansson, som varit ett stöd för oss under hela arbetets gång och hjälpt oss i rätt riktning, så även vår examinator Maria Fredriksson. Även ett stort tack till avdelningen, Byggnadsmaterial, på LTH som hjälpt till med alla möjliga frågor och funderingar. Tack till vår industrikontakt, Emrahus, som bidragit med materialinformation, ritningar och dylikt och erbjudit platsbesök som underlättat vårt arbete oerhört.

Definitioner

A_{temp}: Golvarea som begränsas av klimatskärmens insida för samtliga våningsplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10°C.

BBR: Boverkets byggregler, omfattar regelverk för tillgänglighet, bostadsutformning, rumshöjd, driftutrymmen, brandskydd, hygien, hälsa och miljö, bullerskydd, säkerhet vid användning och energihushållning. Boverket är en förvaltningsmyndighet för samhällsplanering, byggande och boende.

BVD: Är en förkortning av byggvarudeklaration. En BVD ska ge nödvändig produktinformation om ett material och omfattar information om ingående material, produktion, distribution, byggskedet, bruksskedet, rivning, restprodukter, avfallsprodukter och inre miljö. Utformningen av BVD:n är utförd av Kretsloppsrådet (Kretsloppsrådet 2013).

Byggnadens specifika energianvändning: Den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi) för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi. Om golvvärme, handdukstork eller annan apparat för uppvärmning installeras, inräknas även dess energianvändning.

DVUT: Beskrivs även som dimensionerande vinterutetemperatur. DVUT används främst vid dimensionering av rör, värmekällor och radiatorer för byggnader. Med DVUT avses den medeltemperatur under ett dygn, som anger en trolig lägsta utetemperatur för en viss plats. (Warfvinge and Dahlblom 2012)

EPS: är en förkortning av expanderad polystyren och är en sorts cellplast. Cellplast används som isoleringsmaterial i byggnader.

Hushållsenergi: Den el eller annan energi som använd för ändamål i hushåll. Exempel på detta är elanvändningen för tvättmaskin, diktmaskin, spis, kyl, belysning och andra maskiner som använd i hushållet samt belysning, datorer, TV och andra hemelektronikapparater.

Klimatskal: En byggnads klimatskal består av väggar, tak, golv, fönster och dörrar. Det vill säga den yta som omsluter huset, skiljer inomhusklimatet mot utomhusklimatet, samt skyddar mot kyla, värme, regn och andra väderförhållanden. Genom klimatskalet sker värmeförlusterna för huset.

Klimatzon: Sverige är av BBR indelat i tre olika klimatzoner, detta för att kravnivån bättre ska anpassas till landets olika klimatförutsättningar. Skåne tillhör klimatzon III.

Köldbrygga: Med köldbryggor avses sådana delar av klimatskärmen där extra mycket värme läcker ut i förhållande till den i övrigt välisolerade byggnadsdelen.

Lufttäthet: En lufttät byggnad innebär en byggnad som inte läcker luft via genomföringar eller andra otätheter i klimatskalet. Lufttäthet är alltså ett mått på hur tät bygganden är. Genom en hög lufttäthet i byggnaden uppnås en kontrollerad ventilation och en låg energiförbrukning.

U-värde: Även kallat värmemotstånd och är en egenskap som beskriver ett materialskikts isoleringsförmåga. Det beräknas genom att materialets värmekonduktivitet inverteras och multipliceras med tjockleken på skiktet. Ett lågt U-värde betyder god isoleringsförmåga.

Värmeförlusttal: Beskriver byggnadens specifika värmeförluster vid den kallaste dagen på året (DVUT, dimensionerande vinterutetemperaturen) och en inomhustemperatur på 21 °C. Värmeförlusterna sker genom byggnadens fönster, väggar, ventilation och läckage genom springor.

Årlig specifik energianvändning: Innefattar byggnadens energianvändning fördelat på A_{temp} och uttryckt i kWh/m² och år. Hushållsenergi medräknas inte här.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Problemformulering.....	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Metod	4
2 Materialbeskrivning.....	5
3 Myndighetskrav	9
3.1 Kriterier för passivhus.....	9
3.2 Krav enligt BBR.....	10
4 Beskrivning av hustyperna.....	11
4.1 Vad är ett passivhus?	11
4.2 Hus baserat på BBR	12
4.2.1 Konventionella huset	12
4.2.1.1 Grund.....	12
4.2.1.2 Ytterväggar	13
4.2.1.3 Tak- och mellanbjälklag	13
4.2.1.4 Fönster och dörrar	14
4.2.1.5 Ventilationssystem	14
4.2.1.6 Uppvärmningssätt	14
4.2.1.7 Köldbryggor och lufttäthet	15
4.3 Hus baserat på FEBY12.....	15
4.3.1 De passivhusklassificerade husen.....	15
4.3.1.1 Grund.....	15
4.3.1.2 Fönster och dörrar	16
4.3.1.3 Ventilationssystem	16
4.3.1.4 Uppvärmningssätt	16
4.3.2 Emrahuset.....	16
4.3.2.1 Ytterväggar	17
4.3.2.2 Tak- och mellanbjälklag	17
4.3.2.3 Köldbryggor och lufttäthet	18
4.3.3 Passivhuset.....	18
4.3.3.1 Ytterväggar	19
4.3.3.2 Tak- och mellanbjälklag	19
4.3.3.3 Köldbryggor och lufttäthet	19
4.3.4 Ytonghuset	20
4.3.4.1 Ytterväggar	20
4.3.4.2 Tak- och mellanbjälklag	20
4.3.4.3 Köldbryggor och lufttäthet	21

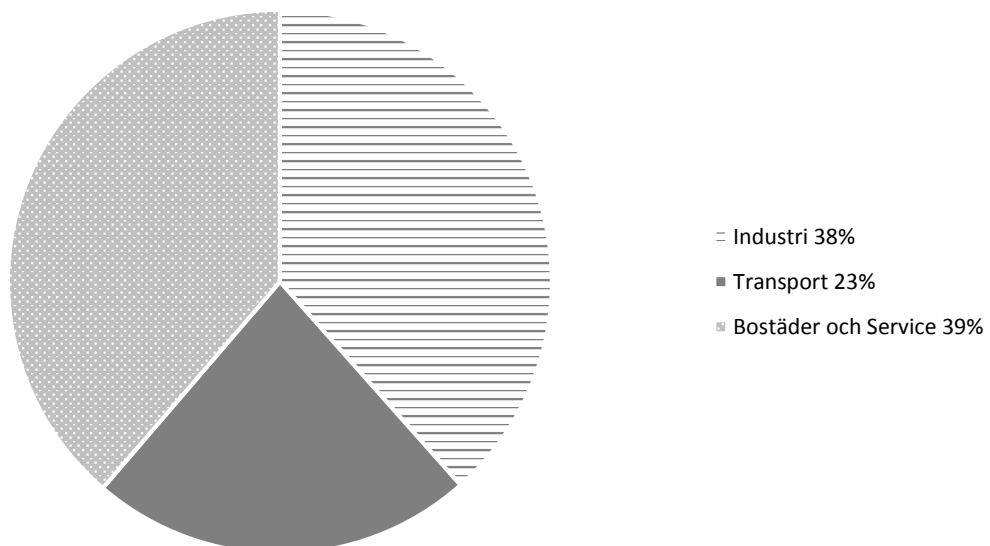
5 Beräkning av årlig specifik energianvändning	22
5.1 U-värden.....	22
5.2 Metod.....	22
5.2.1 Konventionella huset.....	23
5.2.2 Emrahuset.....	23
5.2.3 Passivhuset.....	23
5.2.4 Ytonghuset.....	23
5.3 Indata för Isover Energi 3.....	24
5.4 Begränsningar i Isover Energi 3.....	26
6 Beräkning av tillverkningsenergi	28
6.1 Förutsättningar	28
6.1.1 Byggvarudeklarationer	28
6.2 Metod.....	28
7 Resultat.....	30
7.1 Årlig specifik energianvändning	30
7.1.1 Konventionella huset.....	30
7.1.2 Emrahuset.....	32
7.1.3 Passivhuset.....	32
7.1.4 Ytonghuset.....	33
7.2 Tillverkningsenergi.....	35
7.3 Årlig specifik energianvändning och tillverkningsenergi....	40
7.4 Livslängd och beständighet	41
8 Diskussion.....	43
8.1 Årlig specifik energianvändning	44
8.2 Tillverkningsenergi.....	45
8.3 Livslängd.....	45
9 Slutsats	48
10 Förslag till fortsatt arbete	49
11 Referenser	51
12 Bilagor	54
12.1 Bilaga 1 - U-värdesberäkningar	54
12.2 Bilaga 2 - Beräkning av årlig specifik energianvändning ..	58
12.3 Bilaga 3 - Beräkningar av tillverkningsenergi.....	108
12.4 Bilaga 4 - Typgodkännandebevis av tätningstejp	127

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Under det senaste årtiondet har ordet energi, energiåtgång och förnybar energi blivit mer och mer uppmärksammat i samtliga branscher men främst i byggbranschen. En långvarig förändring har påbörjats där målet är att bygga hållbart och så energisnåla och energieffektiva byggnader som möjligt. Det finns flera lagar som styr byggande och ställer krav när det gäller energi, däribland kapitel 9 i Boverkets Byggregler (BBR) och även Miljöbalken. Dessa ställer krav på bland annat husens energiförbrukning, värmeförluster, hänsynstagande till miljö vid val av material och leverantörer och även vid valet av energikällor.

Energianvändning Sverige år 2012 [TWh]



Figur 1
Energianvändningen i Sverige år 2012 [TWh], uppdelat sektorsvis (Energimyndigheten).

Ur Energimyndighetens energilägesrapport för 2013 (Energimyndigheten 2013) går att läsa att energianvändningen inom bostads- och servicesektorn uppgår till 39% av Sveriges totala energiförbrukning år 2011. I siffror innebär detta 144,3 TWh. Bostäder och lokaler svarar för 90% av denna användning, där hela 60% (77,92 TWh) går till uppvärmning och varmvatten för bostäder. Att genom nya metoder och byggtekniska lösningar sänka den årliga specifika energianvändningen för byggnader, är ett alternativ för att på sikt sänka denna totala energianvändning i Sverige.

Men hur fungerar egentligen de nyare metoderna i det långa loppet?
Passivhusen är erkänt energisnåla, men varför har de inte fått större

genomslagskraft ute i samhället? Att ett hus har en låg energiförbrukning innebär inte nödvändigtvis att det förbrukar mindre energi under sin livslängd. Andra faktorer som är viktiga och som också spelar roll är vilken energi det åtgår för att framställa en viss produkt och hur lång livslängd produkten har. En produkt kan vara energisnål att framställa och förbruka väldigt lite energi under sin livslängd men kanske måste bytas ut efter något år, medan en annan produkt är mer energikrävande att framställa men har 10 gånger längre livslängd. Att då förnya den energisnålare produkten kan i slutändan kosta mer energi om tanken är att produkten ska hålla i ett visst antal år. I BBR ställs krav på att bärande material i en byggnad ska ha en livslängd på 100 år och de material som kan bytas ut ska ha en livstid på minst 50 år. Att då använda sig utav de produkter som förbrukar minst energi sett från hela processen är av stor betydelse för att kunna skapa den hållbara framtid som krävs.

En metod som används just för att undersöka en viss produkts påverkan på miljön under dess livstid är en så kallad LCA, Life Cycle Assessment. Genom en LCA kan man undersöka och bestämma en produkts sammanlagda miljöpåverkan, från framtagning av råvaran till produkten, tillverkning, användning samt avfallshantering. Dessutom analyseras den påverkan som sker i mellanstegen genom exempelvis transport och lagring. Man får genom en LCA inte bara kunskap om produktens energianvändning utan även vilka utsläpp av emissioner den ger samt vad som är förnybar energi i processen. Man brukar tala om att analysera från ”vagga till grav”, det vill säga hela livslängden, eller bara delar av den, exempelvis ”vagga till grind” eller ”grind till grind” (SP 2014). Med ”grind till grind” menas den energiåtgång som åtgår innanför fabriken grindar, alltså från det att råvarorna kommer till fabriken tills då det lämnar som ett färdigt material.

Penaloza et al. (2013) beskriver hur förbättringspotentialen för produktions- och slutanvändningsfasen för en produkt blir mer relevant då användningsfasens miljöpåverkan minskar. Det vill säga, bygger vi hus med låg energiförbrukning blir nästa intressanta steg att undersöka produktens miljöpåverkan i produktionsskedet.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att jämföra skillnaderna i tillverkningsenergi och den årliga specifika energianvändningen hos fyra hustyper. De fyra husen är uppbyggda på olika byggnadstekniska sätt och med olika material. Tre av de fyra husen kommer att uppfylla passivhuskraven och därmed klassas som passivhus. Att passivhus har en lägre årlig energiförbrukning är det ingen tvekan om, dock finns det nästintill inga uppgifter över den energi det åtgår att tillverka husen, dess ingående material och dess livslängd. I det långa loppet kan tillverkningsenergin ha stor

betydelse för att välja rätt och kunna bygga det hus som är energisnålast med hänsyn på både tillverkningen och brukandet. Därmed kommer fokus att ligga på valet av byggnadsmaterial i respektive hus och den energi som förbrukas under tillverkningsskedet för ingående material. Målet är att på så sätt få ett bredare perspektiv och kunna se helheten av en byggnad och den energiåtgång som är kopplad till denna. För att få en bättre uppfattning om förväntad livslängd för de fyra husen har också en kvalitativ utvärdering av de ingående materialens livslängd gjorts.

Detta arbete kan i framtiden vidare användas vid val av byggnadsmaterial då stor vikt ligger på energifrågor och att minimera energianvändningen under hela processen. Arbetet nyttjas förslagsvis av småhusentreprenörer, studenter och övriga ”husbyggare” som söker en långsiktig energieffektiv lösning.

1.3 Problemformulering

- 1) Vilket hus i sin helhet (med grund, ytterväggar och tak, utan fönster och dörrar) har lägst tillverkningsenergi under sin framställning?
- 2) Vilken ytterväggkonstruktion har lägst energiförbrukning per m² i tillverkningsprocessen?
- 3) Vilket material är mest energikrävande under tillverkningen?
- 4) Vilken huskonstruktion har längst livslängd utifrån en kvalitativ bedömning?
- 5) Vad blir den årliga specifika energianvändningen för de fyra husen med valda U-värden?

1.4 Avgränsningar

Rapporten kommer att begränsas till en jämförelse mellan fyra stycken hustyper, alla uppbyggda på olika vis byggnadstekniskt sett. Husen presenteras vidare under avsnitt fyra. Den årliga specifika energiförbrukningen kommer att beräknas samt de ingående byggnadsdelarnas energiåtgång vid tillverkning, alltså tillverkningsenergin. Med byggnadsdelar avses byggnadens omslutande delar, det vill säga grund, yttervägg och tak.

Ingen beaktning av stommarnas hållfasthet kommer att tas vid dimensionering, utan en rimlig dimension kommer fattas genom ingenjörsmässighet. Intresset kommer istället ligga i att finna den dimension som ger byggnadsdelen ett önskat U-värde.

I beräkningarna för tillverkningsenergi inkluderas inte tillbehör så som spik, beslag för infästningar, fönster, dörrar etcetera. Enbart byggnadsmaterialen i de ingående skikten beaktas.

Denna rapport utgör inte en fullständig LCA, utan denna analys-metod har endast använts som inspiration. I rapporten behandlas nämligen inte råvarutvinning, utsläpp av emissioner, transporter och avfall/restprodukt som annars också analyseras i en LCA. Rapporten ser endast till tillverkningsenergin för ett material, det vill säga ”grind till grind”.

1.5 Metod

En litteraturstudie har genomförts främst för att studera de olika ingående materialen, dess framställning, egenskaper och historia. Dock även för att få fram grunder till beräkning av tillverkningsenergi och för att kunna konstruera de fyra olika väggtyperna. Uppgifter om tillverkningsenergin har insamlats från åtskilliga leverantörer och tillverkare genom så kallade byggvarudeklarationer.

Rapporten bygger på såväl kvantitativa som kvalitativa analyser och bedömningar av materialet. Den kvalitativa bedömningen gäller beständighet, köldbryggor, täthet och livslängd och grundar sig på den genomförda litteraturstudien och platsbesök. En kvantitativ bedömning görs på de genomförda beräkningarna.

Först och främst har handberäkningar använts för att göra U-värdesberäkningar samt beräkna tillverkningsenergi. U-värdesberäkningarna har genomförts för Konventionella huset för att kunna konstruera detta och göra korrekta materialtjocklekar för att uppnå önskat U-värde.

För att kunna beräkna den årliga specifika energianvändningen av husen har ett datorbaserat beräkningsprogram använts, Isover Energi 3 (Isover, 2014). Detta program har använts konsekvent för samtliga hustyper. Programmet beskrivs mer ingående under avsnitt 5.3.

Platsbesök på byggarbetsplatser hos passivhustillverkaren Emrahus har genomförts för att kunna se konstruktionen och dess ingående delar på plats samt medverka vid en provtryckning där husets luftläckage undersöktes.

2 Materialbeskrivning

I detta avsnitt följer en beskrivning av de byggnadsmaterial som behandlas i denna rapport. Tillverkningsprocess, ingående råvaror och dylikt beskrivs. Fakta baseras på Burström (2007) om inget annat anges.

Betong

Betong används ofta som stommaterial i bärande konstruktioner, exempelvis i husgrunder, som pelare och vid väg- och brobyggen. Huvudbeståndsdelarna i betong är cement, vatten och ballast (volymandel varierar mellan 65 och 75 %), där cement tillsammans med vatten utgör betongens bindemedel. Med olika tillsatsmedel och tillsatsmaterial kan man åstadkomma önskade egenskaper hos betongen. Tidigare var det vanligt att betong blandades på plats, numera köper man nästan alltid färdigblandad betong.

Vid tillverkning av betong är det framförallt framställning av cement som är energikrävande. Vid cementtillverkningen utgör kalksten tillsammans med lera huvudråvaran. Materialen finmals och bränns därefter i en roterugn, som resulterar i cement i formen av små kulor eller klumpar som sedan mals tillsammans med gips. Gips används för att reglera cementets bindning.

Cellplast

Det finns framförallt två typer av cellplast, expanderad polystyren (EPS) och extruderad polystyren (XPS). Det som skiljer dessa två typer åt är främst att EPS har en tydlig kulstruktur medan XPS har en cellstruktur som mer påminner om en uppskummad vätska. Cellplast tillverkas genom att expandera plast så att det bildas ett porsystem, dessa porer fylls sedan med luft eller gas för att uppnå önskade egenskaper. Materialets förhållandevis låga densitet (ca 10-50 kg/m³) ger en mycket god värmeisoleringsförmåga. Cellplast är ett mycket brännbart material men genom att tillsätta flamskyddsmedel kan svårantändliga material tillverkas. Cellplast är normalt styvare än mineralull. Cellplast används ofta som isolering i grund då hållfastheten är god.

Geotextilduk

Geotextilduken, som består av polypropen, är en plast som används i grundkonstruktionen för att filtrera och stabilisera sand, grus och jord. Geotextilduken placeras under det dränerande skiktet (makadam) i grundkonstruktionen och verkar för att förstärka, filtrera, separera, dränera och stabilisera (Byggkatalogen).

Gips

Gips tillverkas genom bränning av rågips (gipssten), varvid $\frac{3}{4}$ av kristallvattnet drivs ut. Vid framställningen av gipsskivor används även olika tillsatsmedel för att reglera densiteten, som normalt är ca 800 kg/m³. Gipsskivorna består av en gipskärna, täckt med pappkartong, och klassificeras som obrännbara. Därför används gipsskivor ofta som innervägg- och innertakstäckning.

Lättbetong

Lättbetong är en svensk uppfinning som utvecklades under 1920-talet. I materialgruppen lättbetong finns en del undergrupper, men de har alla gemensamt att de består av bindemedel (ofta cement och/eller kalk), vatten och tillsatsmedel. Det man vanligtvis menar med lättbetong är autoklaverad lättbetong, vilket är ett byggnadsmaterial med både bärande och värmeisolerade egenskaper, och har därför avsevärt lägre skrymdensitet än vanlig betong. Dock försämrar hållfastheten med sjunkande densitet. Därför krävs det ofta att man gör en avvägning av vilken funktion (bärande eller värmeisolerande) som bör prioriteras.

Magnesiumoxidskiva

Magnesiumskivan är ett alternativ till den mer välkända gipsskivan och kan användas som både invändig och utvändigt beklädnad. Den kan även användas som bakgrundsvägg för klinker och kakel i våtutrymmen då den är beständig mot fukt. Den är brandklassad och består till huvuddelen av magnesiumoxid (53%), men också magnesiumklorid, perlite pulver och träfiber, och går under namnet glasfiberarmerad byggskiva. Skivan är beständig mot mögel- och svamptillväxt då den är helt oorganisk.

Makadam

Makadam är krossat stenmaterial, i storleksordning ≥ 4 mm med kantig form. Makadam används som dränerande skikt i ett system tillsammans med dräneringsledningar, under och intill husgrunder för att leda bort fritt vatten (Sandin 2007). Makadam tillverkas genom krossning av berg.

Mineralull

Mineralull är ett samlingsnamn för stenull och glasull, och tillverkas i olika utföranden; lösull, mattor och plattor. Mineralullen har mycket god isoleringsförmåga. Vid tillverkning av stenull används normalt diabas som råvara, detta smälts tillsammans, koks och slungas genom ett roterande spinnhjul ut till långa fibrer. Vid tillverkning tillsätts även fenolharts för att göra materialet hanterbart och formstabil, detta ger också stenullen dess gula färg. För att uppnå vattenavgivande egenskaper tillsätts en mycket liten mängd mineralolja.

Vid tillverkning av glasull är det främst sand men också glaskross som används som råvara. Råmaterialet smälts och slungas sedan ut via en roterande spinnare med väggar fyllda av små hål, för att sedan stelna till fibrer. Glasfibrernas diameter är något mindre än stenullens och materialet har därför en lägre skrymdensitet än stenull.

Plastfolie

Plast som byggnadsmaterial har blivit en allt viktigare del i vårt samhälle. Plastfolien används främst som ångspärr och till lufttätning för att undvika fukttransport i och genom material. Ång- och lufttätheten är mycket god i denna typ av material. Plastfolie består vanligen av polyeten, PE, som är av typen termoplast. I en väggkonstruktion sitter plastfolien 1/3 in i väggen (sett från insidan) för att förhindra att uppvärmd luft vandrar in i konstruktionen och kondenserar (Sandin 2007).

Puts- och murbruk

Puts- och murbruk består av bindemedel, ballast, vatten och tillsatsmedel. Det finns olika typer av tillsatsmedel som ger materialet varierande hållfasthet och egenskaper, exempelvis finns luftporbildande medel, plasticeringsmedel, accelerator, vattenavvisande medel och frostskyddsmedel.

Bruk som byggnadsmaterial har används långt tillbaka i tiden, det finns murverk som är flera tusen år gamla. Nyare och modernare byggtekniker ställer nya krav på bindemedel, som ska ge bland annat ett smidigt bruk medan det är färskt, och ett härdat bruk med god hållfasthet.

Takpapp

Att använda papp som taktäckning har man gjort sedan 1700-talet. Dock har tekniken och materialen skiftat genom åren (Sandin 2007). Idag består takpapp av syntetiskt framställd filt, impregnerad med polymermodifierad asfalt och styrol-butadienelastomer (Bokalders, Block et al. 2009). Asfalt framställs genom destillering av råolja. Bitumen är en benämning för de delar av asfalt och tjära som är lösliga i koldisulfid, och förekommer ofta i samtalsämnen angående asfalt. Pappen har en livslängd på ca 30 år och kan användas antingen som plattor eller våder (Bokalders, Block et al. 2009). Viktigt vid montering är noggrann överlappning viktig så att konstruktionen blir tät.

Tegel

Tegel är ett keramiskt byggnadsmaterial som är baserad på lera. Tegel har en lång historia som byggnadsmaterial och man har hittat lämningar av mer än 10 000 år gamla saltorkade lerstenar. Kring år 2000 fanns det omkring 500 tegelverk runt om i Sverige, idag finns det inte ett enda kvar. Anledningen är

främst att tegelstenarna inte längre används som stommaterial utan används som fasadmateriäl.

Tegel och andra keramiska material karakteriseras av att de är hårda och spröda, de saknar i stort sett krympning och plastiska deformationer, de är värmebeständiga, beständiga mot all form av biologiska och kemiskt angrepp och även volymbeständiga (det vill säga har små temperatur- och fuktbetingade deformationer). Framställningen av tegel är en mycket energikrävande process som sker i fem principiella steg; förbehandling av råmaterial (leran och eventuella tillsatser), formning av produkten, torkning av råprodukten, bränning och kylning samt sortering. Tegel är även en återvinningsbar produkt.

Trä

Trä är det byggnadsmaterial som i Sverige har de äldsta traditionerna, detta beror dels på tillgången av trä i våra skogar men också träs breda användningsområde. Trä som byggnadsmaterial används i allt från stomkonstruktioner till inredningar, ställningar och formar. Trä karakteriseras av en rad goda egenskaper så som låg densitet, lätt att bearbeta, god hållfasthet samt god värmeisoleringsförmåga (jämfört med andra stombärande material). Trä klassas och sorteras i olika kvalitéer; konstruktionsvirke (K-virke) och snickerivirke. Den största hållfastheten för materialet uppnås vid dragning i fiberriktningen.

Sett till beständighet är trä ett material som kan angripas av såväl svampar och bakterier samt insekter. Viktigaste sättet att skydda träet mot angrepp är att endast använda det på ett sådant sätt och i en sådan miljö som inte ger upphov till biologiskt angrepp.

Tätningmaterial

Fogmassor används för att täta mellan byggnadsmaterial och olika genomföringar i en byggnad. I allmänhet bör man undvika fogmassor och fogskum i den mån det är möjligt, då dessa ofta innehåller olika former av farliga kemikalier. Fogskum härdar och sväller i kontakt med luft och bildar på så sätt en skumlikande massa som tätar. Ett alternativ är att täta med drev av naturmaterial, eller använda tätningslister som ofta består av gummi. Tejp är ett annat tätningsmaterial som används vid tätning av exempelvis installationsrör, genomföringar och andra skarvar. Tejpen består till största del av plast. (Bokalders, Block et al. 2009)

3 Myndighetskrav

I Sverige är det BBR och Plan- och bygglagen (PBL) som reglerar hur byggnader ska uppföras (rent tekniskt sett). De ställer krav på allt från brand, energihushållning, tillgänglighet, bärförmåga, ljussättning till bullerskydd. Vad de inte behandlar i dagsläget är specifika krav för passivhus. Kriterierna för passivhus skiljer sig åt mellan olika länder, främst på grund av olika klimatförutsättningar. De internationella kriterierna går det att läsa mer om på Passivhuse Institut, PHI (Passive Huse Institute). I Sverige är det Sveriges Centrum för Nollenergihus (SCNH) som ansvarar för utveckling och omarbetningen av de svenska kriterierna. Denna version av kriterier heter FEBY 12 (Nollenergihus 2012).

3.1 Kriterier för passivhus

Byggnadskraven från Centrum för passivhus, FEBY 12, omfattar områdena luftläckning, fönster och dörrar, mätning, fastighetsenergi, fukt samt inomhusmiljö. Byggnadens värmeförlusttal är en central del i kravspecifikationen men inte en dimensionerande parameter. Byggnadens värmeförlusttal beror på byggnadens värmeförlustfaktor, VFT_{DVUT} , vid dimensionerande vinter utetemperatur. Värmeförlustfaktorn bestäms genom beräkning. Nedan (Tabell 1) presenteras de krav som ställs på värmeförlusttal för olika byggnader och klimatzoner (klimatzoner i enlighet med BBR).

Tabell 1

Årlig specifik energianvändning för Nollenergihus och Passivhus [kWh/m^2] vid DVUT och en inomhustemperatur på $21^{\circ}C$.

	Klimatzon	Byggnad mindre än $400 m^2$ [kWh/m^2]	
		Ej eluppvärmd	Elvärmd
Årlig specifik energianvändning	I	58	29
	II	54	27
	III	50	25

Byggnadens specifika energianvändning $E_{levererad}$ för värme, varmvatten och hushållsenergi bestäms genom beräkning. Observera dock att definitionen för elvärmd byggnad i dessa kriterier skiljer sig från BBRs kriterier. Elvärmd byggnad avser här byggnader med alla slags elvärmda system, inklusive värmepumpar, för uppvärmning och varmvatten oavsett installerad eleffekt. Med renodlade system avses byggnader som antingen har enbart elvärmebaserade system eller renodlade icke elvärmda system. (Nollenergihus 2012)

För byggnader med renodlade system (för värme och varmvatten) gäller ställda krav i tabell 1. Medan byggnader med icke renodlat system har andra krav, se FEBY 12.

Under avsnitt 6 Övriga Byggnadskrav, i kravspecifikationen FEBY 12 går att läsa om bland annat krav på luftläckage och fönster/entrédörrar. Luftläckaget genom klimatskärmen får maximalt vara 0,30 l/(s m²) omslutande area vid en tryckskillnad på 50 Pa. Vad gäller fönster och dörrar får byggnadens genomsnittliga U-värde för fönster och glaspartier högst vara 0,8 W/(m²K). För samtliga krav på passivhus hänvisas till FEBY 12.

3.2 Krav enligt BBR

Följande avsnitt grundar sig på BBR 20 (Boverket 2011). I Kapitel 9 i BBR ("Energihushållning") ställs krav på en byggnads energiprestanda. Till skillnad från FEBY 12 ställer BBR krav på U-värdet hos enskilda byggnadsdelar i en byggnad, vilket redovisas i Tabell 2. Dessa U-värden är ett högsta värde för vad ovan nämnda byggnadsdelar får lov att uppnå enligt lag. Genom att erhålla lägre U-värden på ingående byggnadsdelar får byggnaden en generellt sett lägre specifik energianvändning. En byggnads årliga specifika energianvändning regleras av BBR där det ställs olika krav beroende på vilken klimatzon i Sverige som huset är beläget och på dess uppvärmningssätt (se Tabell 3). Då en byggnad har elvärme som uppvärmningssätt ställs det hårdare krav på vad en byggnads energibehov får lov att uppnå. För att en byggnad ska klassas som eluppvärmd måste den installerade eleffekten för uppvärmning vara större än 10 W/m². Exempel på detta uppvärmningssätt är berg-, jord-, sjö- eller luftvärmepump. Även vattenburen elvärme och direktverkande elvärme tillhör denna grupp.

Tabell 2

Krav på U-värde för respektive byggnadsdel.

U _i	U _i [W/(m ² K)] för ej eluppvärmda byggnader
U _{tak}	0,13
U _{vägg}	0,18
U _{golv}	0,15
U _{fönster}	1,3
U _{ytterdörr}	1,3

Tabell 3

Specifik energianvändning [kWh/(m² år)] för olika klimatzoner i bostäder

Klimatzon	I	II	III
Eluppvärmda byggnader	95	75	55
Annat uppvärmningssätt än el	130	110	90

Ovannämnda regler gäller för alla byggnader som uppförs som bostäder. Det finns särskilda undantag där mer elenergi eller högre eleffekt kan vara motiverat, om dessa går det att läsa mer om i BBR 20.

4 Beskrivning av hustyperna

Den här rapporten kommer att behandla fyra stycken olika hustyper: *Konventionella huset, Emrahuset, Passivhuset och Ytonghuset*. Husen beskrivs mer ingående under avsnitt 4.2- 4.6. Husen är konstruerade med avsikten att likna varandra så att det går att göra en rättvis jämförelse husen emellan när det kommer till tillverkningsenergi/m², total tillverkningsenergi samt föra resonemang kring årlig specifik energiförbrukning, beständighet och livslängd. Därför har de tilldelats lika förutsättningar i den mån det är möjligt. Nedan presenteras dessa förutsättningar:

Tabell 4

Gemensamma förutsättningar för samtliga fyra hus. Även husens placering i förhållande till väderstrecken är densamma.

Ort	Lund	A_{om}	416,0 m ²
Klimatzon	III	Grund	95,0 m ²
Inomhustemperatur	21°C	Ytterväggar	165,9 m ²
Marktemperatur	3,2°C	Tak	130,5 m ²
Antal boende	5 st	Fönster	19, 0 m ²
Våningsplan	1 ½	Ytterdörrar	2,0 m ²
A_{temp}	176,8 m ²	Glasad altandörr	3,6 m ²

De förutsättningar som skiljer Konventionella huset från de tre övriga husen är: ventilationssystem, uppvärmningssätt, U-värde för ingående byggnadsdelar samt köldbryggor, se avsnitt 4.2.

Emrahuset är ett verkligt hus och grundas på aktuella bygghandlingar och detta hus har sedan legat till grund för Passivhuset och Ytonghuset. Materialen i ytterväggarna (och även taket för Ytonghuset) har bytts ut för att se vilket utfall detta ger på mängden material som krävs för att uppnå samma årliga specifika energianvändning som Emrahuset, samt hur tillverkningsenergin för denna mängd material ser ut.

4.1 Vad är ett passivhus?

Passivhusen är intressanta att titta närmare på med hänsyn till deras mycket låga årliga specifika energianvändning. Kravet på specifik energianvändning är hälften jämfört med energikraven i BBR för ett eluppvärmt hus. Passivhus karakteriseras av en god lufttäthet, god isolering och ett ventilationssystem med värmeåtervinning. Nedan förklaras ingående vad detta har för funktion i såväl passivhus som konventionella hus.

Täthet: Ett tätt hus resulterar i en väl kontrollerad ventilation där möjlighet finns att återvinna värmen i frånluften. På så sätt slipper man även de flesta transmissionsförluster som annars uppstår i otätheter i klimatskalet och vid genomföringar. Detta bidrar i sin tur till en minskad risk för drag och mögel i konstruktionen. Sveriges Centrum för Nollenergihus (SCNH) ställer krav på byggnadens lufttäthet som innebär att den max får läcka $0,30 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ vid $\pm 50 \text{ Pa}$ tryckskillnad (Nollenergihus 2012).

Isolering: Ett välisolerat hus, med få köldbryggor kräver mycket lite tillförd värme för att uppnå önskat inneklimat. Även användningen av överskottsenergi ökar i ett välisolerat hus eftersom människor, hushållsapparater med mera genererar energi som värmer upp och sedan tas tillvara på. I kravspecifikationen från SCNH finns ett krav på att byggnadens värmeförluster får vara maximalt 15 W/m^2 vid 21°C inomhus och DVUT för ett passivhusklassificerat hus (Nollenergihus 2012).

Ventilation: Ventilationens funktioner i en byggnad är att tillföra frisk och föra bort förorenad luft, medverka till att föroreningar inte sprids i byggnaden, skapa ett undertryck inomhus samt att i vissa fall värma eller kyla. Ren luft ska tillföras (tilluft) de rum där man vistas mest, sovrum och vardagsrum, medan man i badrum, kök och garderober ventilerar bort förorenad luft (frånluft). BBR ställer krav på ett luftflöde på $0,35 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ (Boverket 2011). I passivhus väljer man vanligtvis ett så kallat FTX-system (från- och tilluft samt värmeväxlare), där man tar tillvara på värmen i frånluften.

För att uppnå en låg specifik energianvändning krävs bland annat att de valda materialens isolerande förmåga är god. Det bör nämnas att inga särskilda krav ställs på val av material. Därför testas i denna rapport tre olika hustyper, med olika material och tjocklekar, för att undersöka hur husen kommer att se ut rent konstruktionsmässigt vid samma årliga specifika energiförbrukning.

4.2 Hus baserat på BBR

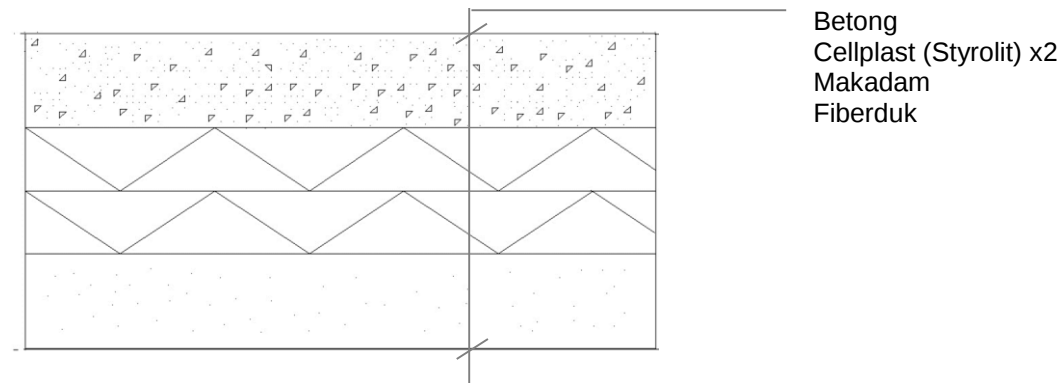
4.2.1 Konventionella huset

Konventionella huset är helt baserat på högsta U-värdekrav samt krav på specifik energianvändning i BBR 20. Minsta möjliga mängd av isolering har använts. Anledningen att just denna hustyp och byggnadsteknik är med i den här jämförelsen är att den anses vara konventionell och allmänt vedertagen runt om i Sverige. Definitionen av ett konventionellt hus utgår från bland annat Sandin (2010).

4.2.1.1 Grund

Grundkonstruktionen är av typlösningen platta på mark. Denna typ av grund speglar väggarnas karaktär och är inspirerad av Isovers platta på mark

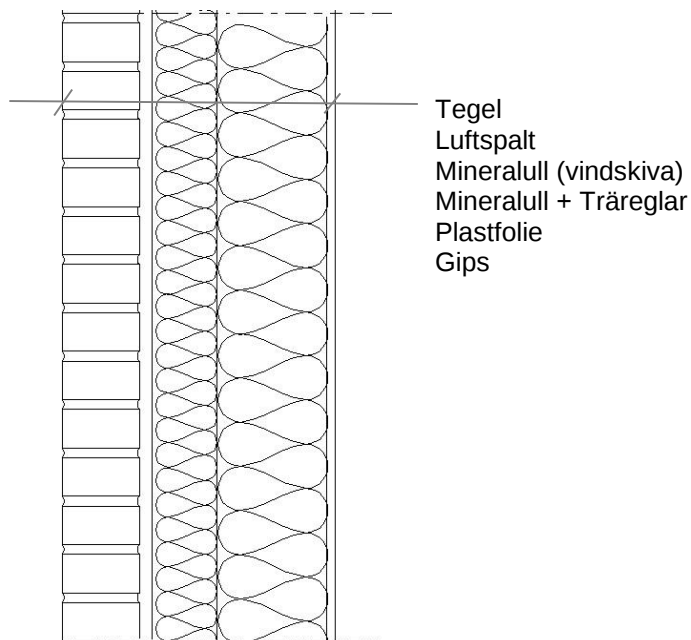
(G:202)(Isover 2014). Grundens ingående material finns beskrivet i figur 2. BBR:s U-värdeskrav på grunden är $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (enligt avsnitt 3.2).



Figur 2
Ingående material för grundkonstruktionen i Konventionella huset.

4.2.1.2 Ytterväggar

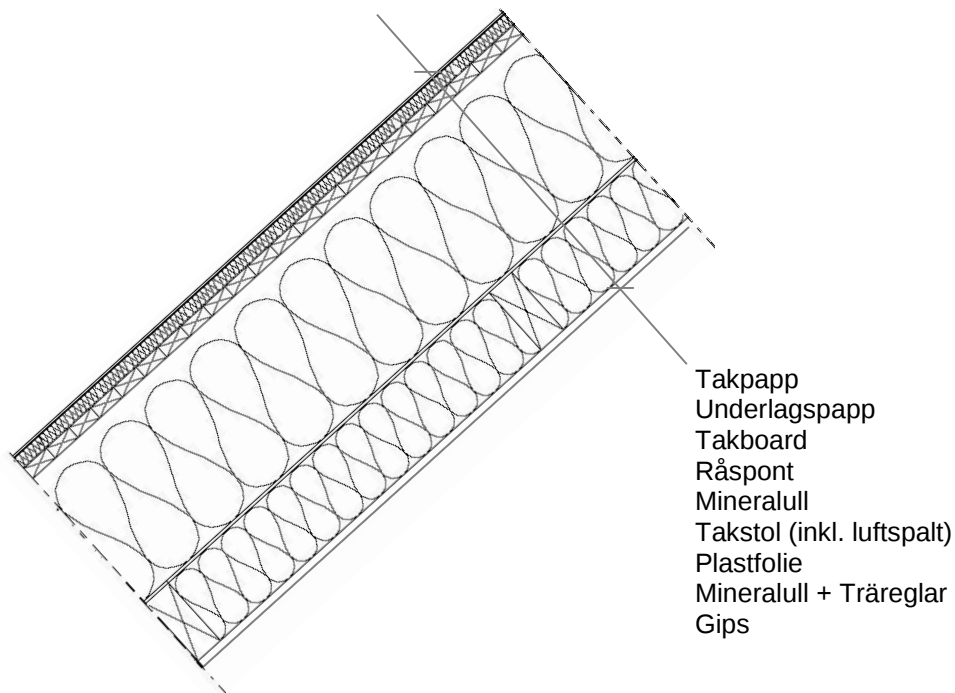
BBR ställer krav på ett högsta U-värde på $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (enligt avsnitt 3.2) för ytterväggar. Tillvägagångssättet har varit sådant att materialskikten har identifierats för att sedan kunna räkna fram en tjocklek på isoleringsskiktet, för resultat se avsnitt 7.1.1. Väggens uppbyggnad beskrivs i figur 3.



Figur 3
Ingående material för ytterväggen i Konventionella huset.

4.2.1.3 Tak- och mellanbjälklag

Denna konstruktion är inspirerad av Isovers snedtak med skivor (S:301), (Isover 2014). Taket är ett sadeltak som beskrivs mer ingående i figur 4. BBR:s krav på U-värde för tak är $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (enligt avsnitt 3.2).



Figur 4
Ingående material för taket i Konventionella huset.

4.2.1.4 Fönster och dörrar

Även fönstren och ytterdörrar för Konventionella huset ska spegla husets egenskaper. BBR ställer ett högsta krav på U-värde för fönster och dörrar på $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (enligt avsnitt 2.2). Genom att välja fönster och dörrar med nämnt U-värde uppfylls de kriterier och egenskaper som söks.

4.2.1.5 Ventilationssystem

Ventilationen i huset är valt till ett mekaniskt frånluftssystem eftersom detta är ett av de vanligast förekommande systemen i småhus som byggs idag (utan krav på lågenergi). I detta system skapar frånluftsfläkten ett undertryck i byggnaden och ny luft sugas automatiskt in i tilluftsdon som är placerade i de utrymmen där man vistas mest, som vardagsrum och sovrum. Frånluften lämnar byggnaden via frånluftsdon i kök och badrum. Frånluftflödet sätts till $0,35 \text{ l}/(\text{s m}^2)$ för att uppfylla BBR:s krav.

4.2.1.6 Uppvärmningssätt

Huset värms upp av fjärrvärme. Fjärrvärme produceras i ett lokalt värmeverk, eller en central kraftvärmeanläggning, och distribueras genom ett kulvertnät till delar av stadens lokaler och bostadshus. För att kunna ta emot värme från en kulvert behöver huset försees med en fjärrvärmecentral, i denna finns två värmeväxlare, en för tappvarmvatten och en för värme.

Att värma upp ett hus på annat sätt än med el (exempelvis fjärrvärme, olja, pellets osv) ställer lägre krav på den specifika energianvändningen för bygganden. Mer om detta går att läsa i BBR 20.

4.2.1.7 Köldbryggor och lufttäthet

I denna konstruktion har ingen specifik lösning framtagits för att undvika köldbryggor. Naturliga köldbryggor i konstruktionen kommer därför att uppstå i infästning grund/yttervägg, ytterhörn, tak/yttervägg samt fönster och dörrar.

4.3 Hus baserat på FEBY12

4.3.1 De passivhusklassificerade husen

Då både Emrahuset, Passivhuset och Ytonghuset är konstruerade för att uppnå passivhusstandard har de flera konstruktionslösningar gemensamt. Grundkonstruktion, fönster- och dörrtyper, ventilationssystem och uppvärmningssystem är identiska för dessa hus. Nedan kommer en beskrivning av dessa lösningar. Vidare har husen olika vägg- och takkonstruktioner (dock samma U-värde), dessa presenteras separat under avsnitt 4.4- 4.6.

4.3.1.1 Grund

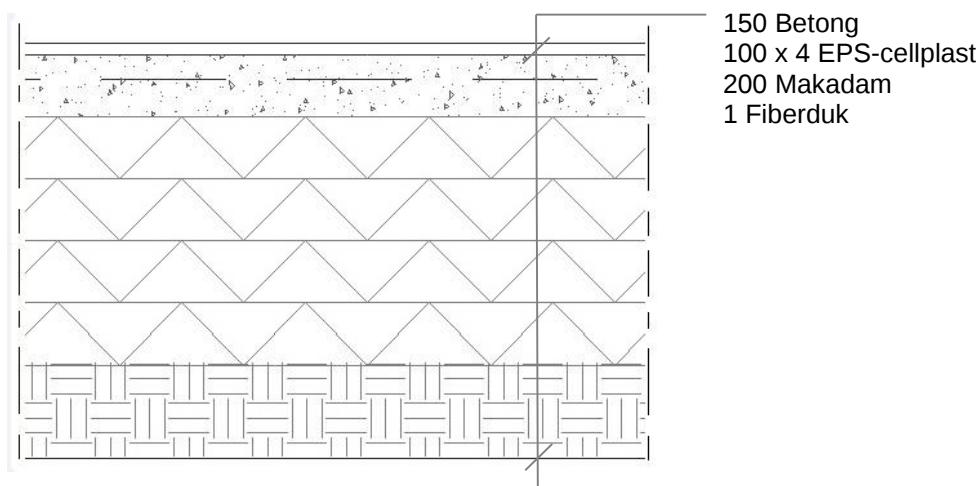
Grunden är isolerad med EPS-cellplast och ovanpå ligger armerad betong. Konstruktionen består av en kantbalk som bryter köldbryggor på ett effektivt sätt genom minimal värmeförlust till mark och genom sockel. Den tjocka isoleringen är dessutom kapillärbytande.

Tabell 5

Grundens ingående materialsnitt för Emrahuset, Passivhuset och Ytonghuset.

Material	Lambda, λ [W/(m·°C)]
EPS-cellplast (S200)	0,034 ³
Armerad betong	1,7 ¹
Makadam	1,0 ¹
Geotextilduk	0 ¹

¹(Sandin 2010)³(Byggolit 2014)



Figur 5

Ingående material för grundkonstruktionen i Emrahuset, Passivhuset och Ytonghuset.

4.3.1.2 Fönster och dörrar

Fönster och dörrar i passivhuskonstruktioner har generellt sett låga U-värden (krav på genomsnittligt U-värde på $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i FEBY 12), detta gäller därmed för dessa tre konstruktioner.

4.3.1.3 Ventilationssystem

Hus som uppfyller passivhuskrav ventileras vanligen med ett FTX-system (från- och tilluftsventilation med återvinning). Ett FTX-system består av en tilluftsfläkt och en frånluftsfläkt som ventilerar huset via två kanaler, samt en värmeväxlare. Värmen överförs från den varma frånluften till den kalla uteluften (tilluften) i värmeväxlaren. Energibesparingen med en värmeväxlare kan bli 50–80 % jämfört med om värmen inte återvinns (Energimyndigheten).

4.3.1.4 Uppvärmningssätt

Som tidigare nämnts är ett passivhusklassificerat hus mycket välisolerat, med hög lufttätet och effektivt ventilationssystem. Dessa faktorer tillsammans gör att man inte behöver något särskilt system för uppvärmning förutom FTX-systemet och dess värmeväxlare. Aktiviteten i huset genererar också värme och denna kan tack vare den tjocka isoleringen utnyttjas som komfortvärme i huset. Värmeväxlaren i FTX-systemet har en installerad eleffekt, precis som varmvattenberedaren. Denna el-effekt gör att bygganden klassas om en el-uppvärmd byggnad enligt BBR, se krav i avsnitt 3.2.

4.3.2 Emrahuset

Detta hus är ritat och konstruerat av passivhusleverantören Emrahus. Huset är baserat på aktuella bygghandlingar samt tidigare utförd energiberäkning, och uppfyller kraven för passivhus enligt FEBY 12 (Nollenergihus 2012). Emrahus har utnämnts till Sveriges tätaste hus i en oberoende undersökning

genomförd av Energimyndigheten tillsammans med Passivhuscentrum (Energimyndigheten).

4.3.2.1 Ytterväggar

Väggarna består av 500 mm tjocka block av EPS-cellplast, med inbyggda kanaler av stålreglar för betonggjutning. Betongen (pelare 120x100 mm), bildar den bärande stommen i huset. På cellplastens utsida finns 12 mm fiberputs som fasad. På insidan sitter en oorganisk, fuktbeständig magnesiumoxidskiva som skyddar mot fukt och brand.

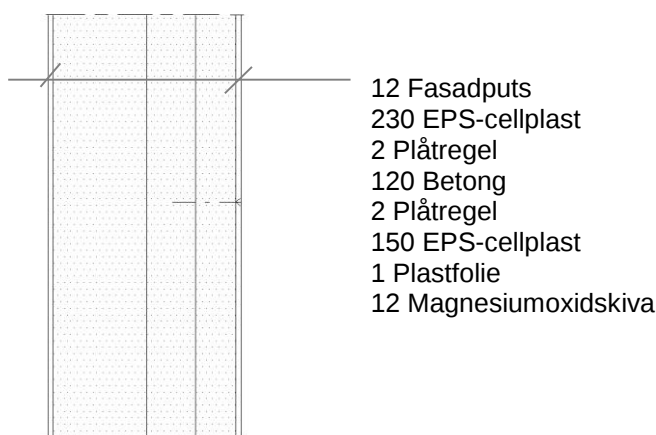
Den stora mängden cellplast i konstruktionen bildar mycket god lufttätet och uppkomsten av köldbryggor i konstruktionen är minimal. Då materialen i väggen är oorganiska är risken för mögel och röta uppstår mycket liten.

Tabell 6

Ingående material i ytterväggen för Emrahuset (insida-utsida).

Material	Lambda, λ [W/(m·°C)]
Magnesiumoxidskiva	0,13 ⁴
EPS-cellplast S200	0,034 ³
Plåttregel	50,0 ²
Betong	1,7 ¹
Plåttregel	50,0 ²
EPS-cellplast S200	0,034 ³
Fiberputs	1,0 ²

¹ (Sandin 2010), ² (Isover, 2014) ³ (Byggolit 2014), ⁴ (Ekstrands 2012)



Figur 6

Ingående material för ytterväggen i Emrahuset.

4.3.2.2 Tak- och mellanbjälklag

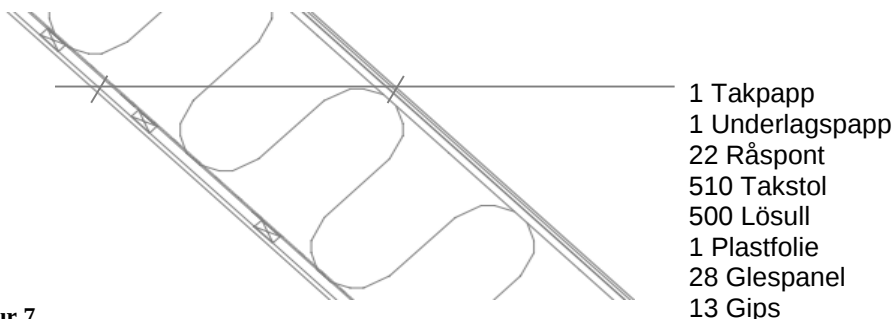
Taket är av sadeltakstyp och bärs upp av takstolar. Taket är isolerat med 500 mm lösull för god värmeisolering. Mellanbjälklaget är uppbyggt av träreglar som vilar på en ram av betong och är isolerat med 100 mm stegljudsisolering.

Tabell 7

Ingående material i taket för Emrahuset (innifrån-ut).

Material	Lambda, λ [W/(m·°C)]
Gips	0,22 ¹
Glespanel	0,14 ¹
Plastfolie	0 ¹
Lösull	0,038 ²
Takstol	0,14 ¹
Råspont	0,14 ¹
Underlagspapp	0 ¹
Takpapp	0 ¹

¹ (Sandin 2010) ² (Isover, 2014)

**Figur 7**

Ingående material för taket i Emrahuset.

4.3.2.3 Köldbryggor och lufttätthet

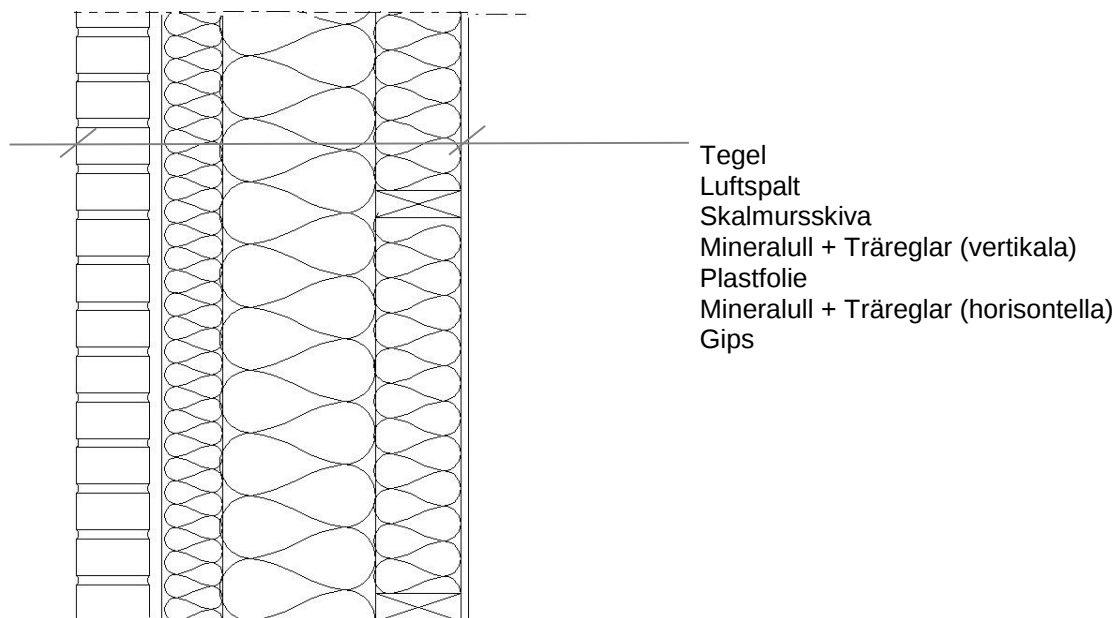
Passivhus får ha ett maximalt luftläckage genom klimatskärmen på 0,3 l/(s m²) enligt FEBY 12 (Nollenergihus 2012). För att uppnå så pass täta hus använder man sig av isoleringstejp vid genomföringar och lister. Man använder också speciella tätningsfogar vid exempelvis fönster och golv/taklister. För att uppnå riktigt låga värden kan man även täta med så kallt fogskum, eller tätningsfoam, en typ av skum som sprutas in i upptäckta otätheter och andra infästningar. För att upptäcka otätheter kan man göra en provtryckning av huset när det är rest och tätt. Efter utförd provtryckning finns sedan möjlighet att ”täta” huset med skum, fog eller tejp.

4.3.3 Passivhuset

Passivhuset är en ombyggd variant av Konventionella huset, där materialen i ytterväggarna bevarats men dimensionerna justerats för att klara kraven för passivhus. De konventionella materialen mineralull, träreglar och fasadtegel har således behållits.

4.3.3.1 Ytterväggar

Det som skiljer ytterväggarna åt från Konventionella huset är att isoleringsskiktet är tjockare för Passivhuset, för att uppnå ett bättre U-värde för väggen (identiskt U-värde som Emrahuset).



Figur 8

Ingående material för ytterväggen i Passivhuset.

4.3.3.2 Tak- och mellanbjälklag

Taket är av sadeltakstyp och bärs upp av takstolar. Konstruktionen är identisk med Emrahuset, se avsnitt 4.4.2. Mellanbjälklaget är uppbyggt av reglar och är isolerat med 100 mm stegljudsisolering.

4.3.3.3 Köldbryggor och lufttätet

För att undvika köldbryggor i den mån det är möjligt i denna typ av konstruktion (mineralull + träreglar, där träreglar bryter det isolerande skiktet och därmed skapar en köldbrygga) delas isoleringsskiktet i ytterväggen upp i två skikt, ett med stående reglar och ett med liggande. På så sätt bygger man med "korslagda" reglar och köldbryggan genom ytterväggen blir minsta möjliga.

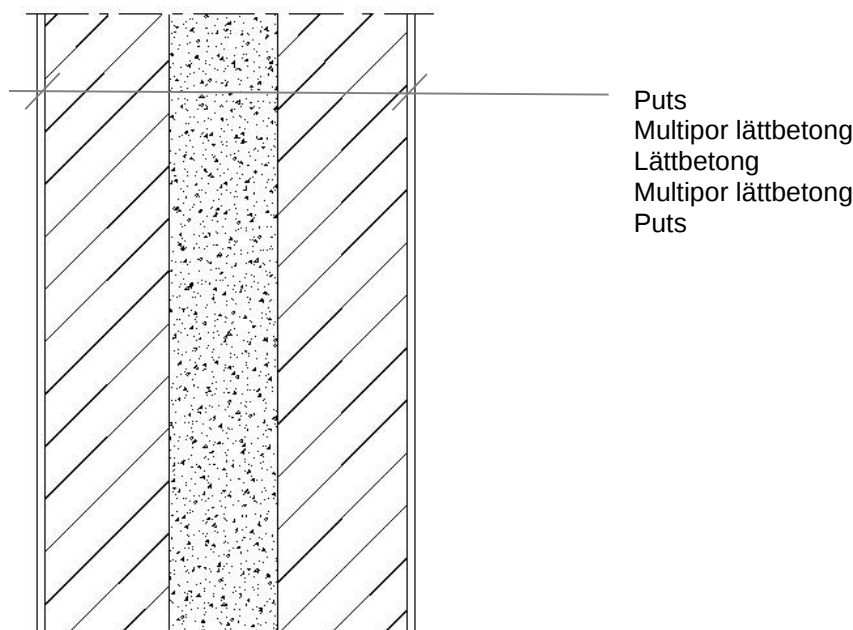
Vid infästning mellan yttervägg/grund finns en lösning för infästningen av reglarna med stålsyll och ett isolerande skikt under dessa. Stålsylen är försedd med ihåligheter vilket medför att värme kan transporteras från plattan, genom dessa håligheter, upp i träet. På så vis skyddar sylen träreglarna i väggen både mot fukt och bryter den köldbrygga som annars uppstår.

4.3.4 Ytonghuset

Detta hus har ytterväggar och tak bestående av lättbetongblock från Ytong (Xella 2014). Lättbetongen finns tillgänglig med olika densitet och ger därmed olika önskade egenskaper, dels ett block med högre densitet som ger en god hållfasthet, och block med lägre densitet som ger en god isoleringsförmåga, med $\lambda = 0,045 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{K})$.

4.3.4.1 Ytterväggar

Ytterväggarna består av solida lättbetongsblock och detta blir även de som är bärande i konstruktionen. På varje sida om blocken sätts ett block som heter Multipor (Xella) och utanpå detta ligger en puts på både insida och utsida. Multiporblocket är både isolerande och putsbärande. Det stombärande lättbetongblocket har en högre densitet (340 kg/m^3) än det isolerande Multiporblocket (115 kg/m^3).

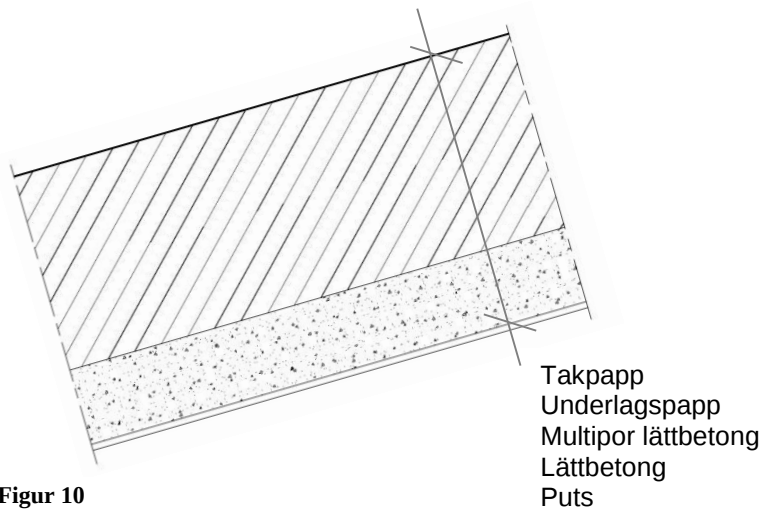


Figur 9

Ingående material för ytterväggen i Ytonghuset (utifrån-in).

4.3.4.2 Tak- och mellanbjälklag

Ytong har utformat speciella lättbetongblock avsedda för tak- och mellanbjälklag. Taken begränsas till låglutande och därför ser detta tak något annorlunda ut jämfört med konstruktionerna i de övriga tre husen med en taklutning på 15° istället för 45° . Lättbetongblocket som använts i taket har en densitet på 550 kg/m^3 (Xella 2009c). För att uppnå önskat U-värde isoleras taket utvändigt med Multipor. Mellanbjälklaget består av 100 mm stegljudsisolering, i enlighet med konstruktionerna i de övriga tre husen.



Figur 10
 Ingående material för taket i Ytonghuset.

4.3.4.3 Köldbryggor och lufttätet

Lättbetong är ett material med god värmeisolering som ger ett bra inomhusklimat tack vare dess diffusionsöppna struktur. Risk för mögel eller röta i stomkonstruktionen är liten då materialet är oorganiskt. Konstruktionen blir helt lufttät så länge man använder puts/fog i skarvarna då dessa inte är täta i sig. (Xella 2014)

5 Beräkning av årlig specifik energianvändning

Det bör noteras att Konventionella huset skiljer sig så pass från de övriga tre att det inte blir en rättvis jämförelse husen emellan när det kommer till årlig specifik energianvändning. Konventionella huset värms nämligen upp på annat sätt än el (fjärrvärme). Energiberäkningen för huset presenteras ändå för att påvisa skillnaden mellan olika materialval, dess tjocklek och byggnadens uppvärmningssystem och vilket utfall dessa val gör på den årliga specifika energianvändningen för bygganden.

5.1 U-värden

I Tabell 8 finns de U-värden som gäller för de olika husen. Byggnadsdelarnas U-värden är en avgörande parameter när den årliga specifika energianvändningen beräknas. De passivhusklassificerade husen har U-värden som baseras på Emrahusets bygghandlingar medan Konventionella husets U-värden baseras på BBR:s krav.

Tabell 8

U-värden för ingående byggnadsdelar för Konventionella huset samt de passivhusklassificerade husen.

Byggnadsdel	U-värde [W/(m ² K)]	
	Konventionella huset	Passivhusklassificerade husen
Yttervägg	0,18	0,09
Tak	0,13	0,1
Grund	0,14	0,09
Fönster	1,3	0,8
Glasad altandörr	1,3	1,1
Ytterdörr	1,3	0,9

5.2 Metod

Energiberäkningarna i den här rapporten är utförda i programmet ISOVER Energi 3. Programmet hanterar såväl U-värden (U_m och U_i) som köldbryggor (ψ_k) och uppskattad specifik energianvändning (kWh/(m² år)) för aktuell byggnad. Isover Energi 3 är sammankopplat med BBR:s senaste version och ger direkt värden för bland annat rätt klimatzon och gällande regler.

De parametrar som avgör den specifika energianvändningen för byggnaden är dess storlek, de ingående byggnadsdelarnas U-värden, mängden köldbryggor, DVUT, byggnadens placering i klimatzon, luftväxling, poster som ger internvärme, uppvärmningssystem, eventuella solfångare, varmvattenberedning, komfortkyla samt de boende och deras beteende och vanor. En del av värdena är sådana som matas in av den som utför beräkningen, t.ex. A_{temp} , väggarnas, takets och grundens area, fönsterarea och

liknande indata. Andra värden beräknas i programmet, exempelvis DVUT och byggnadsdelarnas U-värde.

5.2.1 Konventionella huset

Huset ”byggdes upp” i Isover Energi 3, köldbryggor beräknades och lades till samt all indata (uppvärmningssystem, luftväxling osv) fördes in i programmet. Den specifika energianvändningen beräknades med minsta möjliga isolering för att uppnå BBR:s krav. Därefter gjordes upprepade försök med ökad mängd isolering i väggarna för att undersöka vad som hände med den specifika energianvändningen.

5.2.2 Emrahuset

Den grundläggande energiberäkningen för Emrahuset är utförd av arkitekt Jan-Åke Andersson på KreArk Arkitekter, i uppdrag av småhusleverantören Emrahus. För att möjliggöra en jämförelse mellan de fyra husen har energiberäkningen för Emrahuset genomförts ytterligare en gång i samband med beräkningarna för övriga tre hus, med samma beräkningsprogram (Isover Energi 3) för samtliga hus. Indata från den redan utförda energiberäkningen ligger till grund för den nya beräkningen.

5.2.3 Passivhuset

Passivhuset är som tidigare nämnt en omarbetning av Konventionella huset, med ökade isolertjocklekar och utbytt värme- och ventilationssystem för att uppnå en lägre årlig specifik energianvändning. Se figur 11 för en jämförelse husen emellan av de indata som krävs för att beräkna specifik energianvändningen.

Att enbart öka isoleringstjockleken för grund, ytterväggar och tak räcker inte för att sänka den årliga specifik energianvändningen till önskat värde, utan värme- och ventilationssystemet måste bytas till ett effektivare. Även köldbryggorna måste behandlas och ges specifika konstruktionslösningar.

5.2.4 Ytonghuset

För detta solida lättbetonghus gäller samma tillvägagångssätt som nämns ovan. Huset byggs upp i beräkningsprogrammet på samma sätt och med identiska förutsättningar som för Emrahuset och Passivhuset, förutom ytterväggarnas och takets uppbyggnad. Även här testades olika tjocklekar på de isolerande skikten för att se vad som krävdes för att nå önskad specifik energianvändning.

5.3 Indata för Isover Energi 3

Figur 11 är hämtad ur Isover Energi 3 och visar vilken indata som krävs för att kunna genomföra en energiberäkning i programmet. Under figuren följer en förklaring till varje siffra. Då förutsättningarna för ett passivhusklassificerade hus ser annorlunda ut jämfört med förutsättningarna för ett konventionellt hus med krav enligt BBR visas här indata för de passivhusklassificerade husen till vänster i Figur 11 och för Konventionella huset till höger.

Figur 11

Figuren är hämtad ur beräkningsprogrammet och beskriver den indata som krävs för att beräkna den årliga specifika energianvändningen för en byggnad. Till vänster beskrivs de passivhusklassificerade husen och till höger Konventionella huset.

Siffrorna 1-17 ger information om de passivhusklassade husen medan siffrorna 18-34, i kursiv stil, ger information om Konventionella huset.

- 1(18) Följande värde för infiltration inkl. fönstervädring är ett normalvärde där programmet själv föreslår 0,15 oms/h.
- 2(19) 0,35 l/(s, m²) är ett normalvärde (samt krav från BBR), föreslaget från programmet.
- 3(20) De värmeväxlare som Emrahus använder sig av har en verkningsgrad på 84%, därför väljs det för samtliga passivhuskonstruktioner. Verkningsgraden på värmeväxlaren har stor inverkan på den årliga specifika energianvändningen.
- Konventionella huset har ingen fläkt som återvinner värmen i frånluften och därmed sätts 0% på verkningsgraden.*
- 4(21) Programmet föreslår ett schablonvärde på 5000 kWh/år för 4 personer i en villa. Genom omräkning blir det 6750 kWh/år för en villa med 5 personer.
- 5(22) För fastighetsenergin är normalvärde för en villa 1500 kWh/år, föreslaget från programmet.
- 6(23) Med 5 personer boende i huset och med en närvaro på 80% ger det ett genomsnittligt värde på 4,0 st.
- 7(24) Årsvärmefaktorn hämtas från värmepumpsleverantören. Denna beror på vilka temperaturer och flöden som körs och i produktdatabladet (Nilan 2014) går det att utläsa hur denna faktor påverkas, enligt Engdahl (2014).
- 8(25) Detta värde går att hämta från VVS-installatören, se produktdatablad för valt system i (Nilan 2014).
- 9(26) Detta värde beror på fastighet/objekt och beräknas fram. Tillsammans med Engdahl (2014) har det beslutats att 100% blir en passande faktor för att uppnå önskade värden.
- 10(27) Detta värde går att hämta från VVS-leverantören, se produktblad för valt system i (Nilan 2014).
- För Konventionella huset är den installerade el-effekten är noll, då huset inte är eluppvärmt.*

- 11(28) 100% väljs vid direktverkande el.
98 % väljs vid fjärrvärme.
- 12(29) 100% väljs vid direktverkande el.
98 % väljs vid fjärrvärme.
- 13(30) Installerad el-effekt för uppvärmning dimensioneras för varje enskild bostad. Ett värde på 2,4 kW uppskattas schablonmässigt (Engdahl 2014).
Den installerade el-effekten är noll, då Konventionella huset inte är eluppvärmt.
- 14(31) Husen har inga solfångare.
- 15(32) Varmvattenberedningen uppgår till ett normalvärde på 800 kWh/år, person, föreslaget från programmet själv. För 5 personer blir detta 4000 kWh/år.
- 16(33) Installerad el-effekt för varmvattenberedning går att hämta från VVS-leverantören (Nilan 2014).
Den installerade el-effekten är noll, då Konventionella huset inte är eluppvärmt.
- 17(34) Ingen komfortkyla används.

5.4 Begränsningar i Isover Energi 3

I Isover Energi 3 finns en del begränsningar som måste beaktas vid dessa energiberäkningar. Begränsningarna presenteras kortfattat nedan, samt deras inverkan på slutresultatet.

1. *Noggrannhet:* Programmet väljer automatiskt att avrunda värden till endast en decimal, trots att de matas in med större noggrannhet än så. Detta leder till avrundningsfel som i slutändan kan ge marginell påverkan på resultatet.
2. *Kontroll av indata:* En del parametrar i indata är endast möjlig att uppskatta, såsom årsvärmefaktorn. Andra värden bygger på schablonvärden, exempelvis varmvattenberedning samt hushålls- och fastighetsenergi. Det resulterar endast i en uppskattning och kan skilja

sig från verkligheten, men då alla fyra hus ges samma värden är jämförelsen fortfarande intressant.

3. *BBR reglerar:* Programmet är uppbyggt för att synka med BBR, det vill säga att BBR:s krav är styrande. Kraven för passivhus är mycket strängare och kräver därmed andra dimensioner på exempelvis isolering. Det går inte att svara på om programmet kan hantera ”orimliga” isoleringstjocklekar som närmar sig 1000 mm. Vid utförd beräkning testades ”orimliga” tjocklekar på allt från 600 – 10 000 mm isolering, utan att ge märkbart utfall på den årliga specifika energianvändningen. Detta måste ses som en stor begränsning och kan ge ett orättvist utfall på U-värdesberäkningarna samt beräkningen för den specifika energianvändningen.
4. *Projekteringen av huset:* Då huset inte byggs i verkligheten har det inte heller projekterats i minsta detalj. Detta kan leda till att en del information har uteblivit, exempel på detta kan vara korrekt utförda detaljlösningar kring infästningar/uppkomsten av köldbryggor och dylikt.

6 Beräkning av tillverkningsenergi

6.1 Förutsättningar

Till grund för beräkningarna av tillverkningsenergi (kWh/enhet) ligger byggvarudeklarationer. Mer om dessa deklARATIONER går att läsa i avsnitt 6.1.1. Tillverkningsenergin har beräknats per m² material, för att sedan sättas samman i hela byggnadsdelar. Tillverkningsenergin har delats upp för de olika husen och vidare för grund, tak och yttervägg. Fönster och dörrar är komplicerade komponenter i en byggnad och har därför uteslutits ur beräkningen.

6.1.1 Byggvarudeklarationer

Riktlinjerna för byggvarudeklarationerna (BVD 3) är framtagna av kretsloppsrådet (Kretsloppsrådet). Kretsloppsrådet har genom bygg- och fastighetssektorn arbetat fram ett program som formulerar branschens producentansvar, där man behandlar energihushållning, materialhushållning, farliga ämnen och god inomhusmiljö. Programmet kallas ”Miljöprogram 2010” och har som syfte att uppnå en hållbar byggd miljö, och därur har bland annat dokumentet för byggvarudeklarationer skapats. De två viktigaste användningsområdena för BVD:er är miljöbedömning av byggvaror (för att bedömning ska kunna göras i samband med exempelvis projektering och inköp) samt dokumentation av inbyggda varor (som kunskapskälla vid framtida åtgärder så som rivning och avfallshantering, eller vid behov av byte till mer miljöanpassade produkter).

Byggvarudeklarationen är indelad i olika avsnitt och behandlar allt från varuinformation till rivning och avfallshantering för den aktuella byggvaran. Avsnitt 5 heter ”Produktionsskedet” och här presenteras bland annat resursutnyttjande och miljöpåverkan där information om tillverkningsenergi går att finna.

6.2 Metod

Beräkningarna har systematiskt utförts för hand. Varje materials volym, per m² vägg har beräknats. Beroende på vilken enhet som tillverkningsenergin har angivits i (oftast per kg material eller m³) har sedan omvandling gjorts till rätt enhet genom att använda sambandet

$$m = \rho \cdot V \text{ [kg]}$$

För några material har tillverkningsenergin presenterat i MJ istället för kWh/enhet och då har omvandling gjorts genom att använda sambandet:

$$1 \text{ MJ} = 0,28 \text{ kWh}$$

Vidare har de olika materialens energiåtgång summerats och på så vis har den totala tillverkningsenergin beräknats. De utförda beräkningarna är gjorda på de dimensioner som krävs för att byggnadsdelarna ska uppnå valt U-värde för de fyra husen (se Tabell 8). För samtliga beräkningar för alla fyra husen se Bilaga 3.

7 Resultat

7.1 Årlig specifik energianvändning

7.1.1 Konventionella huset

Den specifika energianvändningen beräknas till 68 kWh/(m²år) (se Bilaga 2 för uträkning). Detta energibehov är 25% lägre än BBR:s krav. Dimensionerna för klimatskalets byggnadsdelar har beräknats för hand (se Bilaga 1). U_m för huset är 0,24 W/(m² °C) (se Bilaga 2 för uträkning). Multipliceras den årliga specifika energianvändningen med A_{temp} fås en total energiförbrukning till 12 022 kWh.

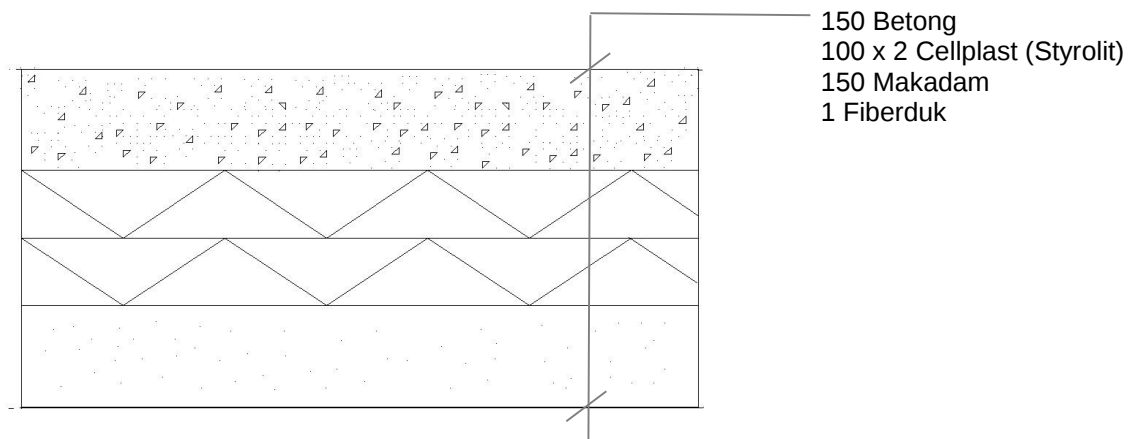
I Tabell 9 nedan presenteras den tjocklek som krävs på varje ingående materialsikt för att uppfylla ställda krav på U-värde.

Tabell 9

Ingående materialsikt och de dimensioner som krävs för att uppnå önskat U-värde.

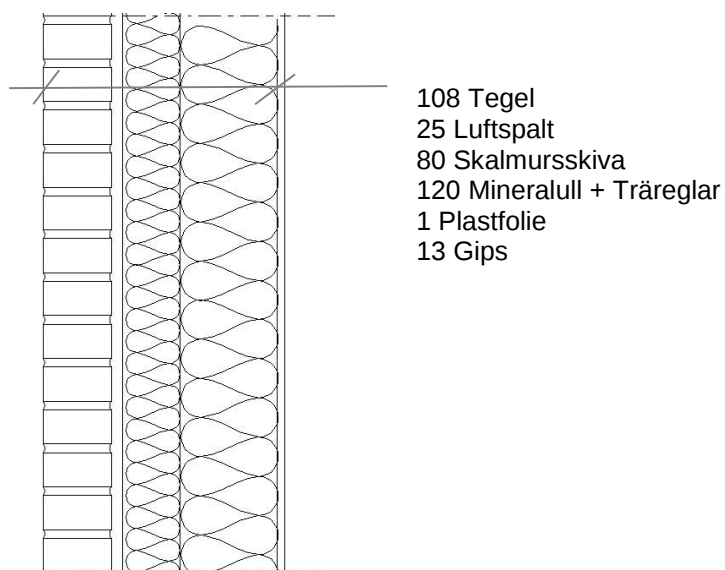
Material	Tjocklek [mm]	Lambda, λ [W/(m·°C)]
<i>Grund</i>		
Betong	150	1,7 ¹
Isover Styrolit (EPS-cellplast)	200	0,038 ²
Makadam	200	1,0 ¹
Fiberduk	1	0 ¹
Σ	551	
<i>Yttervägg</i>		
Gips	13	0,22 ¹
Plastfolie	1	0 ¹
Träreglar	120	1,4 ¹
Isover UNI-skiva 33 (glasull)	120	0,033 ²
Isover Skalmursskiva (vindskydd)	80	0,033 ²
Luftspalt, väl ventilerad	25	0 ¹
Tegel	108	0,6 ¹
Σ	347	
<i>Tak</i>		
Gips	13	0,22 ¹
Isover Takstolsskiva P37 (glasull)	120	0,037 ²
Träreglar	120	0,14 ¹
Plastsfolie	1	0 ¹
Isover Takstolsskiva P37 (glasull)	220	0,037 ²
Träreglar	245	0,14 ¹
Luftspalt, välventilerad	25	0 ¹
Råspont	22	0,14 ¹
Isover Takboard 33 (vindskydd)	20	0,033 ¹
Underlagspapp	1	0 ¹
Takpapp	1	0
Σ	448	

¹(Sandin 2010), ²(Isover 2014)



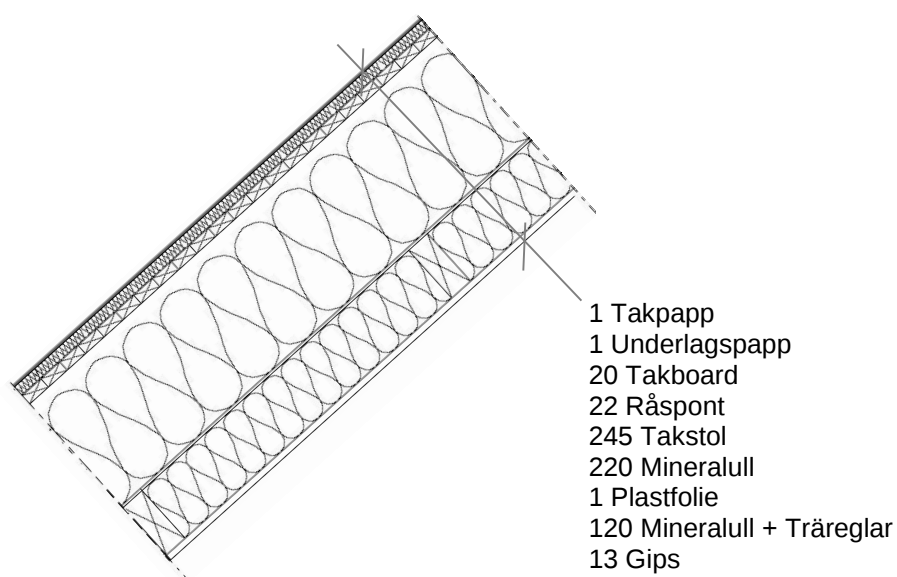
Figur 12

Ingående material samt dimensioner för grundkonstruktionen i Konventionella huset.



Figur 13

Ingående material samt dimensioner för ytterväggen i Konventionella huset.



Figur 14

Ingående material samt dimensioner för taket i Konventionella huset.

Följande köldbryggors längd har räknas ut för hand och dess inverkan på konstruktionen och den årliga specifika energianvändningen har beräknats genom Isover Energi 3. I Tabell 10 presenteras dels köldbryggornas längd och dels dess placering.

Tabell 10

Köldbryggornas placering och dess längd i Konventionella huset.

Placering	Längd [m]
Mot mark	40,8 m
Fönster, dörrar	91,14 m
Mot yttervägg och mellanbjälklag	40,8 m
Mot yttervägg och vindsbjälklag	33,28 m
Mot ytterhörn/innerhörn/takvinkel	26,4 m

7.1.2 Emrahuset

Den specifika energianvändningen för detta hus är beräknat till 25 kWh/(m² år) (se Bilaga 2). Detta värde är 54% lägre än BBR:s krav på uppmätt specifik energianvändning, och det uppnår precis passivhuscentrums krav på passivhus enligt FEBY 12. U_m för huset är 0,14 W/(m² °C) (se Bilaga 2 för uträkning). Multipliceras den årliga specifika energianvändningen med A_{temp} fås en total energiförbrukning till 4 420 kWh.

7.1.3 Passivhuset

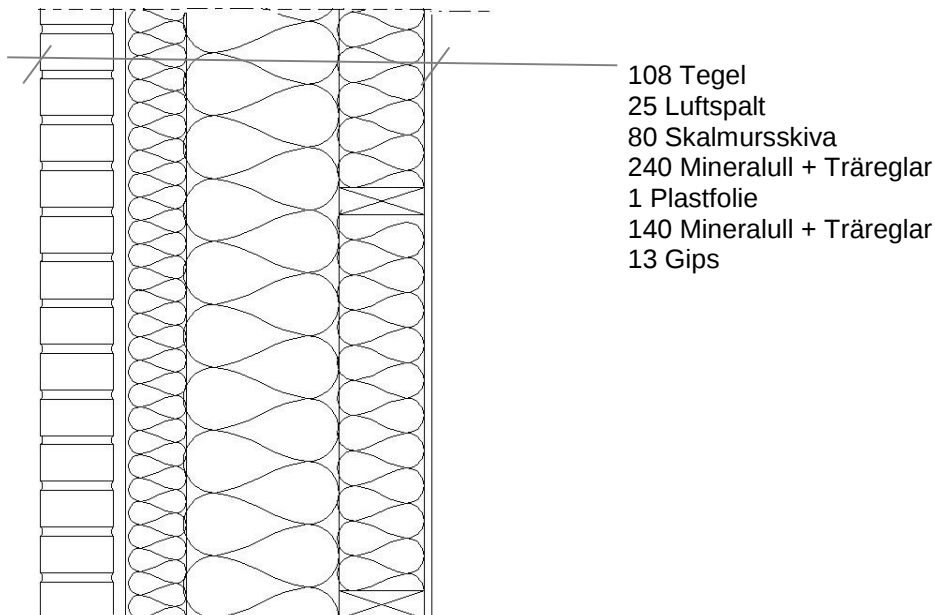
Den specifika energianvändningen för Passivhuset ska (som tidigare nämnt) uppfylla samma värde som Emrahuset, vilket är 25 kWh/(m² år) (se uträkning i Bilaga 2). I Tabell 11 nedan presenteras de dimensioner som krävs på ingående materialsikt för att uppnå önskad specifik energianvändning. U_m för huset är 0,14 W/(m² °C) (se Bilaga 2 för uträkning). Multipliceras den årliga specifika energianvändningen med A_{temp} fås en total energiförbrukning till 4 420 kWh.

Tabell 11

Ingående material i yttervägg och tak samt de dimensioner som krävs för att uppnå önskade U-värden och årlig specifik energianvändning.

Material	Tjocklek [mm]	Lambda, λ [W/(m·°C)]
Yttervägg		
Gips	13	0,22 ¹
Träreglar	140	1,4 ¹
Isover UNI-skiva 33 (glasul)	140	0,033 ²
Isover Vario Duplex (ångspärr)	1	0 ¹
Träreglar	240	1,4 ¹
Isover UNI-skiva 33(glasull)	240	0,033 ²
Isover Skalmursskiva (vindskydd)	80	0,033 ²
Luftspalt, väl ventilerad	25	0 ¹
Tegel	108	0,6 ²
Σ	607	
Tak		
Gips	13	0,22 ¹
Glespanel	28	0,14 ¹
Ångbroms	1	0 ¹
Takstol	510	0,14 ¹
Lösull	500	0,038 ²
Råspont	22	0,14 ¹
Underlagspapp	1	0 ¹
Takpapp	1	0 ¹
Σ	576	

¹(Sandin 2010), ²(Isover 2014)

**Figur 15**

Ingående skikt för ytterväggskonstruktionen för Passivhuset.

7.1.4 Ytonghuset

Även detta hus ska ha samma specifika energianvändning som Emrahuset, vilket innebär 25 kWh/(m² år). I Bilaga 2 går att utläsa att detta uppfylls med de dimensioner på materialskikten som beskrivs i Tabell 12. U_m för huset är

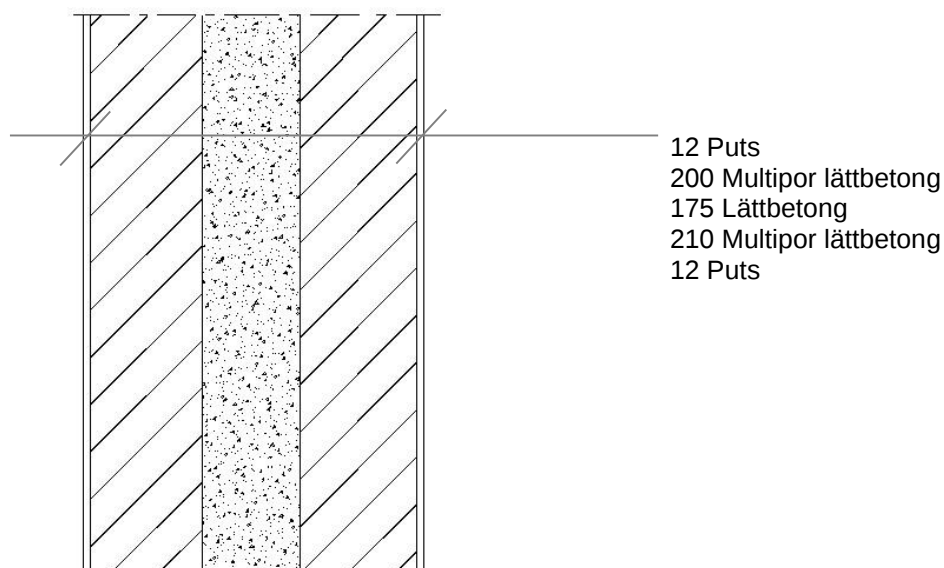
0,14 W/(m²·°C), precis samma som för Emrahuset och Passivhuset (se Bilaga 2 för uträkning). Multipliceras den årliga specifika energianvändningen med A_{temp} fås en total energiförbrukning till 4 420 kWh.

Tabell 12

Ingående material för yttervägg och tak i Ytonghuset.

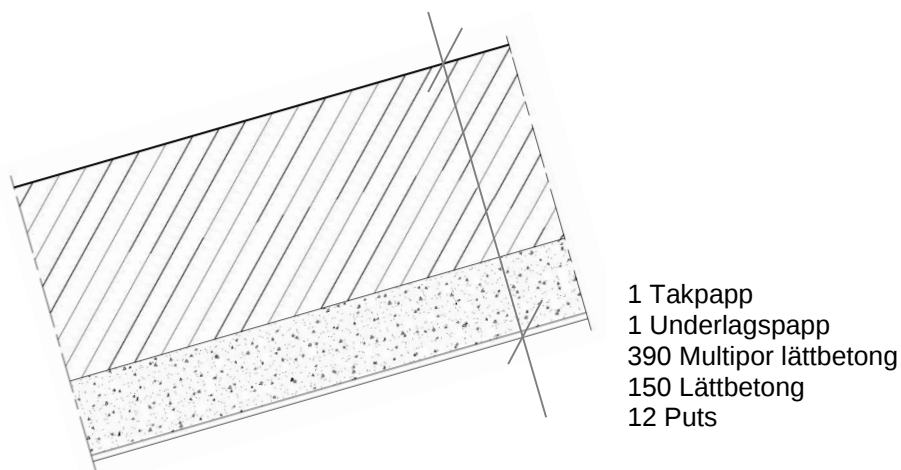
Material	Tjocklek [mm]	Lambda, λ [(W/m·°C)]
Yttervägg		
Puts	12	1,0 ¹
Multipor	210	0,045 ⁸
Ytong Lättbetong	175	0,09 ⁶
Multipor	200	0,045 ⁸
Puts	12	1,0 ¹
Σ	609	
Tak		
Puts	12	1,0 ¹
Ytong lättbetong (takblock)	150	0,14 ⁷
Multipor	390	0,045 ⁸
Underlagspapp	1	0 ¹
Takpapp	1	0 ¹
Σ	554	

¹ (Sandin 2010), ⁶ (Xella 2009a), ⁷ (Xella, 2009c) ⁸ (Xella 2009b)



Figur 16

Ingående material samt dimensioner för ytterväggen i Ytonghuset (utifrån-in).



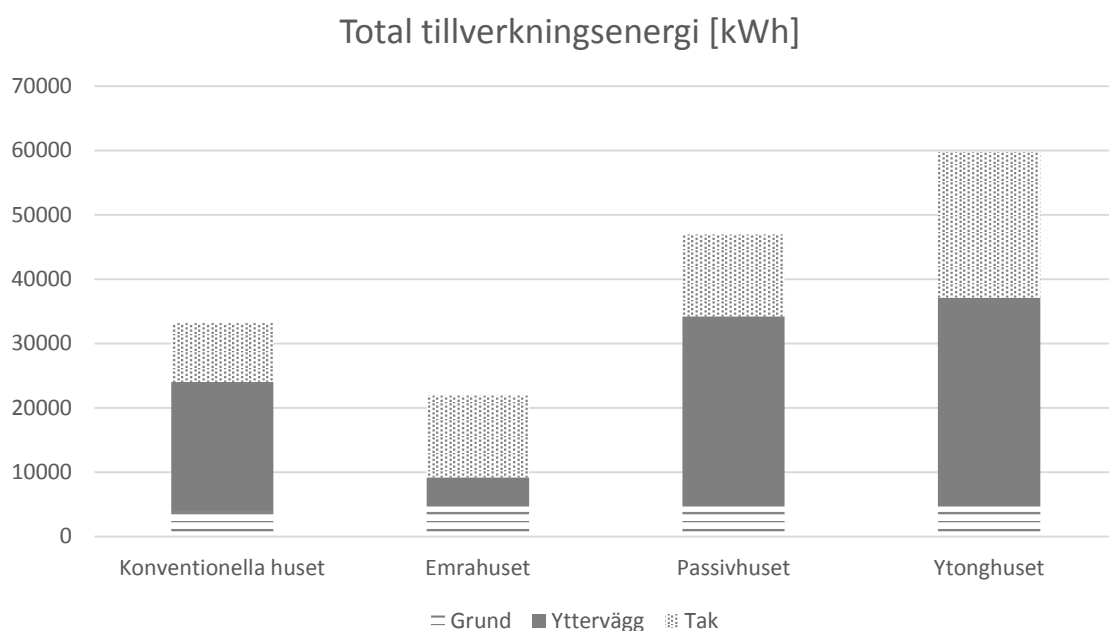
Figur 17
Ingående material samt dimensioner för taket i Ytonghuset.

7.2 Tillverkningsenergi

I detta avsnitt redogörs resultaten för tillverkningsenergin. Tabell 13 visar en sammanställning för de fyra husen tillsammans, vilka sedan redovisas separat och mer ingående i de avsnitt som följer. Tabellen visar på en tydlig skillnad i tillverkningsenergi för de fyra husen, både totalt och för varje enskild byggnadsdel. Jämförs husen totalt sett, med varje byggnadsdel inräknad, åtgår det endast en tredjedel så mycket energi att tillverka materialen för Emrahuset som för Ytonghuset. Studeras tillverkningsenergin för grunden, åtgår det endast 9 kWh/m² mer att tillverka grunden för de passivhusklassificerade husen jämfört med Konventionella huset, trots att denna grund innehåller dubbelt så mycket cellplastisolering (400 mm). Tillverkningsenergin för ytterväggarna utmärker sig starkt för Emrahuset som är mycket låg jämfört med övriga tre hus. Takkonstruktionen för Ytonghuset visar sig kräva nästan dubbelt så mycket energi i tillverkningen jämfört med de andra två passivhusklassificerade husen. Se även Figur 18 för översikt av tillverkningsenergin.

Tabell 13
Tillverkningsenergin för de fyra husen uppdelat i byggnadsdelar och redovisas per m² yta, total yta samt totalt för hela huset.

	Grund		Yttervägg		Tak		Summa hela huset
	[kWh/ m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/ m ²]	[kWh]	
Konventionella huset	40	3 844	122	20 189	70	9 130	33 160
Emrahuset	49	4 669	27	4 556	97	12 720	21 945
Passivhuset	49	4 669	178	29 553	97	12 720	46 940
Ytonghuset	49	4 669	195	32 432	174	22 648	59 750



Figur 18

Figuren visar de fyra husens totala tillverkningsenergi, baserat på tabellen ovan.

I Tabell 14-17 visas tillverkningsenergin för de ingående byggnadsmaterialen i respektive hus, för komplett beräkningsgång se Bilaga 3. Som det går att utläsa ur dessa tabeller varier mängden tillverkningsenergi av volymen.

I Tabell 14 utläses att tegel är det material som det åtgår avsevärt mest energi att tillverka. Sett till alla tre konstruktionsdelar i huset är väggen den del som kräver mest energi i tillverkningsprocessen. Minst energi åtgår för att tillverka grunden, där betongen står för hela 35,2 kWh/m² av den totala mängden på 40,5 kWh/m².

Tabell 14

Resultat av den energi som åtgår att tillverkar varje ingående material i rätt dimensioner för Konventionella huset.

Byggnads del/material	kWh/m ² byggnadsdel
<i>Grund</i>	
Fiberduk	0
Makadam	0,9
Cellplast (styrolit)	3,65
Armering	0,68
Betong inkl. cementtillverkning	35,23
Σ	40,46
<i>Yttervägg</i>	
Murbruk	17,10
Tegel	66,82
Mineralull, skalmursskiva	10,98
Mineralull, Isover UNI-skiva 33	14,11
Träregel, vertikal	5,89
Plastfolie	0,00
Gips	6,79
Σ	121,69
<i>Tak</i>	
Takpapp	0,9
Underlagspapp	0,9
Takboard 33	12,01
Råspont	2,28
Takstolskiva P37	18,87
Takstol	12,03
Plastfolie	0,00
Takstolskiva P37	10,29
Träreglar	5,89
Gips	6,79
Σ	69,96

I Tabell 15, som visar resultatet av tillverkningsenergin för Emrahuset, utläses att lösullen i takkonstruktionen är det material som kräver mest energi i tillverkningsprocessen. Materialen i ytterväggen har en mycket låg tillverkningsenergi, där cellplasten står för den största mängden energi. Värt att notera är tillverkningsenergin för betong som här är låg. Betongtillverkning (cementtillverkning) är egentligen en energikrävande process men här beror den låga mängden energi på betongpelarens dimensioner. Betongen utgör alltså en liten del av ytterväggskonstruktionen och därmed blir även mängden tillverkningsenergi liten.

Tabell 15

Resultat av den energi som åtgår att tillverkar varje ingående material i rätt dimensioner för Emrahuset.

Byggnads del/material	kWh/m ² byggnadsdel
<i>Grund</i>	
Fiberduk	0
Makadam	0,90
EPS-cellplast (styrolit)	12,34
Armering	0,68
Betong inkl. cementtillverkning	35,23
Σ	49,15
<i>Yttervägg</i>	
Fasadputs	8,06
EPS-cellplast (S200)	15,06
Betongpelare	4,23
Plåtprofil	0,096
Plastfolie	0,00
Magnesiumoxidskiva	0,0122
Σ	27,46
<i>Tak</i>	
Takpapp	0,90
Underlagspapp	0,90
Rås	2,28
Lösull	55,13
Takstol	25,05
Plastfolie	0,00
Glespanel	6,42
Gips	6,79
Σ	97,47

Tabell 16, som beskriver tillverkningsenergin för Passivhuset, visar att ytterväggkonstruktionen är den byggnadsdel som kräver mest energi i tillverkning för detta hus, där framförallt teglet kräver mycket energi. Även mineralullen kräver mycket energi, detta beror främst på den relativt stora mängd mineralull som används i konstruktionen.

Tabell 16

Resultat av den energi som åtgår att tillverkar varje ingående material i rätt dimensioner för Passivhuset.

Byggnads del/material	kWh/m ² byggnadsdel
<i>Grund</i>	
Fiberduk	0
Makadam	0,90
EPS-cellplast	12,34
Armering	0,68
Betong inkl. cementtillverkning	35,23
Σ	49,15
<i>Yttervägg</i>	
Murbruk	17,10
Tegel	66,82
Mineralull, skalmursskiva	10,98
Mineralull, Isover UNI-skiva 33	44,69
Träregel, vertikal	24,88
Träregel, horisontell	6,88
Plastfolie	0,00
Gips	6,79
Σ	178,14
<i>Tak</i>	
Takpapp	0,9
Underlagspapp	0,9
Råspont	2,28
Lösull	55,13
Takstol	25,05
Plastfolie	0,0
Glespanel	6,42
Gips	6,79
Σ	97,47

Tabell 17 visar att lättbetong är mycket energikrävande i tillverkningsprocessen och ger därför Ytonghuset en totalt sett hög tillverkningsenergi. Tillverkningsenergin för ytterväggen är tre gånger som stor som för grunden där lättbetong inte används.

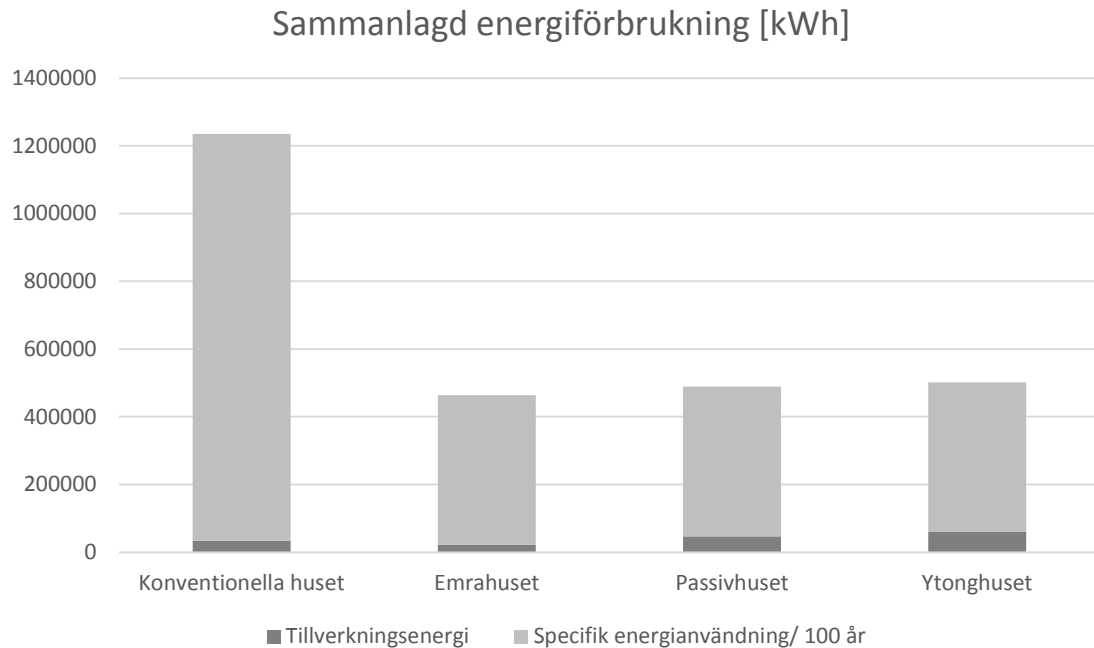
Tabell 17

Resultatet av den energi som åtgår att tillverkar varje ingående material i rätt dimensioner för Ytonghuset.

Byggnads del/material	kWh/m ² byggnadsdel
<i>Grund</i>	
Fiberduk	0
Makadam	0,90
EPS-cellplast (styrolit)	12,34
Armering	0,68
Betong inkl. cementtillverkning	35,23
Σ	49,15
<i>Yttervägg</i>	
Fasadputs	8,06
Multipor isolering	51,62
Ytong lättbetong	73,55
Multipor isolering	54,20
Puts	8,06
Σ	195,49
<i>Tak</i>	
Takpapp	0,90
Underlagspapp	0,90
Multipor Isolering	100,65
Lättbetongblock takbjälklag	63,04
Puts	8,06
Σ	173,55

7.3 Årlig specifik energianvändning och tillverkningsenergi

De passivhusklassificerade husen har endast 37% av den årliga specifika energiförbrukning som Konventionella huset beräknas ha. Med avsikten att husen ska ha en livslängd på 100 år ges följande specifika energiförbrukning för husen, baserat på resultatet av den utförda energiberäkningen i avsnitt 7.1. Genom att multiplicera den årlig specifika energianvändningen med A_{temp} och 100 år får de passivhusklassificerade husen en årlig specifik energianvändning på 442 000 kWh och Konventionella huset får en årlig specifik energianvändning på 1 202 240 kWh. I Figur 20 nedan visas tillverkningsenergi samt totala specifika energianvändning på 100 år i kWh för respektive hus.



Figur 19

De fyra husen, deras tillverkningsenergi [kWh] samt specifika energianvändning i 100 år [kWh].

Genom att summera tillverkningsenergin och den totala specifika energianvändningen enligt Figur 20 kan man även beräkna hur stor andel tillverkningsenergin utgör av den totala summan, vilket presenteras nedan:

Konventionella huset: 2,7%

Emrahuset: 4,7%

Passivhuset: 9,6%

Ytonghuset: 11,9%

7.4 Livslängd och beständighet

För samtliga material förutom stål, limträ, allboard (magnesiumoxidskiva), och lättbetong går det att utläsa en livslängd >50 år för materialet i byggvarudeklarationerna. För tegel finns ett tillägg som lyder ”livslängd uppskattas vara över 100 år” och för betong finns tillägget ”materialet betong har i praktiken en obegränsad livslängd”. För limträ går att läsa ur byggvarudeklarationen att produktens livslängd motsvarar vid inbyggnad normalt sett byggnadens. Enligt Bokalders, Block et al. (2009) har takpapp en livstid på ca 30 år, till skillnad från vad studerad BVD säger (>50 år).

För stål, allboard och lättbetong saknas uppgifter helt i BVD:er. Angående stål och lättbetong kan detta bero på att tillverkningen sker utomlands och därför finns det ingen BVD upprättad. Enligt stålbyggnadsinstitutet (Stålbyggnadsinstitutet 2014) har stål som material en ”mycket lång livslängd” och ur korrosionssynpunkt är livslängden mer än 100 år. Livslängden för

lättbetong går inte att bestämma utan är beroende av den kvalité på det bindemedel som används (med bindemedel menas cement).

Något som inte behandlas i tillverkningsenergin men som skall beaktas vid analys av livslängd är den tätningstejp och fogskum som används för att täta Emrahuset. Enligt en byggvarudeklaration för fogskum (tätning foam) (Sika 2011) är livslängden beräknad till 25 år vid optimala förutsättningar. Det står vidare att den faktiska livslängden är beroende av situationsspecifika omständigheter och kan variera mellan 1-25 år. För tätningstejp gäller en uppskattad livslängd på 50 år enligt ett typgodkännandebevis utfört av SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP 2013). Enligt BVD från Gyproc har tejp en livslängd på 25-50 år (Gyproc 2012a). Ovan nämnda resonemang gäller även för Passivhuset med avseende på tejp.

Man bör även beakta de olika materialens beständighet mot exempelvis fukt när man studerar materialens livslängd. Oorganiska material har en god beständighet mot fukt och fuktnrelaterade skador. Fukt i träkonstruktioner däremot kan resultera i att träet möglar, angrips av rötsvampar (vilket leder till dålig lukt respektive sämre hållfasthet) och mineralullens isoleringsförmåga försämras. Detta kan undvikas med en luftspalt så att eventuell fukt kan torka ut. Så länge trä byggs på ett korrekt sett är dock risken för fukt i konstruktionen liten. För Konventionella huset och Passivhuset värmer dessutom den yttersta vindskyddande mineralullskivan i ytterväggkonstruktionen de stombärande träreglarna och minskar därmed relativa fuktigheten i träet. Tegel är allmänt känt som ett effektivt väderskydd och har en mycket lång livslängd (>100 år).

Vid användning av lättbetong i konstruktioner måste byggfukten beaktas. Uttorkningen pågår under byggnadens hela första år och kan ge skador på material som byggs samman med lättbetongen, exempelvis sockellister.

8 Diskussion

Konventionella husets främsta fördelar är dess relativt låga tillverkningsenergi men framförallt är ett stomsystem av träreglar en traditionell och väl beprövad byggteknik i Sverige. Träreglar är ett hållbart material om det byggs på ett korrekt sett (med minimerad risk för fuktskador), med en lång livslängd. Dessutom har fasadmaterialet tegel en lång livslängd (>100 år) med god frostbeständighet och kan dessutom återanvändas. Den största nackdelen med Konventionella huset är dess höga årliga specifika energianvändning som är mer än dubbelt så hög som för de passivhusklassificerade husen. En annan nackdel är ventilationssystemet; att istället byta ut F-systemet mot ett FTX-system skulle ha en stor positiv inverkan på den årliga specifika energianvändningen (i praktiken fungerar detta dock ej, då ett FTX-system bygger på ett lufttätt hus utan luftläckage). Emrahuset är det hus med den avsevärt lägsta tillverkningsenergin, och har dessutom en låg årlig specifik energianvändning. Att använda ett ventilationssystem med värmeåtervinning visar sig vara mycket effektivt för den specifika energianvändningen för huset, så även konstruktionen i sig som ger få köldbryggor. Att huset dessutom har en mycket god lufttätthet ger ett inomhusklimat utan luftrörelser. Nackdelarna med Emrahuset är de ingående materialens livslängd, man vet mycket lite om hur plast, tejp och fogskum beter sig efter en lång tid. Att tätningstejpen har en angiven livslängd på 1-25 år talar mycket emot konstruktionen, som bygger på just lufttätthet. Att byta ut ett tätningsmaterialen i konstruktionen borde vara ganska komplicerat, då huset är uppbyggt av cellplastblock. Tejpen och fogskummet är placerat framför cellplasten men innanför magnesiumoxidskivan, vilket skulle innebära att denna skiva skulle behöva rivas. Passivhusets största fördel är dess låga energianvändning där det värmeåtervinnande ventilationssystemet och konstruktionens goda värmeisoleringsförmåga spelar stor roll. Övriga synpunkter är de samma som för Konventionella huset då de består av samma typ av material. Ytonghuset har en stor fördel i att vara konstruerat i lättbetong rakt igenom, detta minimerar bland annat uppkomst av köldbryggor och huset är enkelt att uppföra. Att materialet dessutom är både bärande och värmeisolerande är unikt och mycket effektivt. Att använda ett och samma material innebär en robust konstruktion med färre kritiska moment så som köldbryggor, otätheter vid genomföringar etcetera. Nackdelen med Ytonghuset är dess höga tillverkningsenergi samt den relativt stora mängd byggfukt som måste beaktas främst under husets första år (då uttorkningsprocessen fortfarande pågår). Byggfukten kan leda till en högre specifik energianvändning under det första året samt ge skador på material som byggs samman med lättbetongen.

8.1 Årlig specifik energianvändning

Precis som avsett har Emrahuset, Passivhuset och Ytonghuset exakt samma värde när det gäller den årliga specifika energianvändningen. Den uppkommer till totalt 25 kWh/m². Väggarnas tjocklek för Emrahuset, Passivhuset och Ytonghuset är 524 mm, 607 mm respektive 609 mm. Var av de isolerande skikten är 500 mm, 460 mm respektive 585 mm. Att väggarnas tjocklek skiljer sig åt, trots samma U-värde för väggen, beror på att materialen har olika värmekonduktivitet (λ -värde). Det är lätt att dra slutsatsen att Passivhusväggens isolerande material har bättre isolerande förmåga då väggen uppnår samma U-värde som resterande två väggar men mindre material används (smalare materialsikt). Genom att optimera och välja isolerande material med låg värmekonduktivitet kan det sparas material. Hade Passivhusväggen haft en putsad fasad, precis som Emrahuset och Ytonghuset, istället för tegel hade väggen blivit 511 mm, och därmed varit den yttervägg med minst tjocklek.

Som väntat har Konventionella huset avsevärt högre årlig specifik energianvändning än de tre andra husen (68 kWh/m²). Detta beror dels på att byggnadsdelarnas U-värde är betydligt högre, mängden köldbryggor och att andra installationssystem har använts. Innan projektets början förväntades en årlig specifik energianvändning som överensstämde exakt med BBR:s krav på 90 kWh/m², då vi valt att utgå från BBR:s högsta krav på U-värde. Att val av exempelvis uppvärmningssätt och ventilationssystem har så pass stor betydelse för den årliga specifika energianvändningen som det i själva verket har var vi inte införstådda med. Under processen har förståelse fåtts för hur komplext det är att bygga energisnålt och att varje komponent har stor betydelse i slutändan, inte bara konstruktionsdelarnas U-värde. Procentuellt sett har Konventionella huset 25% lägre årlig specifik energianvändning än de krav BBR ställer medan de tre resterande husen har så mycket som 54% lägre, trots strängare krav. De tre passivhusklassificerade husen når precis upp till de krav som ställs på den årlig specifika energiförbrukningen för passivhus (25 kWh/(m² år)), enligt FEBY 12.

En begränsning som enligt oss är viktigt att beakta i sammanhanget är att Isover Energi 3 inte verkar kunna hantera ”orimligt” tjocka isoleringsskikt, då den årliga specifika energianvändningen inte sänktes till förväntade nivåer. Istället var man tvungen att byta värme- och ventilationssystem för att nå riktigt låga värden i årlig specifik energianvändning. Inte ens när 10 000 mm mineralull i väggen testades för Konventionella huset nåddes passivhus-nivåer på den årliga specifika energianvändningen.

8.2 Tillverkningsenergi

Eftersom tre av fyra hus har likvärdig årsförbrukning av energi är det intressant att jämföra hur mycket energi det åtgår att tillverka respektive hus. Jämförs den totala tillverkningsenergin för samtliga fyra hus i Tabell 13 fås en skillnad mellan Emrahuset och Ytonghuset på ca 40 000 kWh. Denna siffra innebär att det endast åtgår en 1/3 så mycket energi att tillverka Emrahuset jämfört med Ytonghuset. Vidare utläses ur samma tabell att det åtgår endast hälften så mycket energi att tillverka Emrahuset jämfört med Passivhuset. Här blir det alltså tydligt att valen av material (så väl isolerande som bärande) har en stor påverkan på tillverkningsenergin för ett hus.

Jämförs nu istället endast ytterväggarna, tillverkningsenergin per m² vägg, blir skillnaden mellan Emrahuset och de övriga husen ännu tydligare (Tabell 14-17). För att tillverka en m² vägg med Emrahusets konstruktion åtgår det 27 kWh, medan det åtgår hela 195 kWh att tillverka samma yta vägg av Ytonghusets konstruktion. Översatt till procent innebär det att Emrahusväggen endast kräver 14% av den mängd energi som Ytongväggen kräver i tillverkning. Jämförs däremot Konventionella huset, Passivhuset och Ytonghuset skiljer sig dessa inte åt på samma sätt, förutom att Konventionella huset har något lägre tillverkningsenergi än Passivhuset och Ytonghuset. Detta beror framför allt på att denna vägg är betydligt mindre i tjocklek. Här har förmodligen avgränsningarna för rapporten stor betydelse, om man även studerat råvaruutvinningen för materialen hade resultaten med största sannolikhet sett annorlunda ut. Cellplasten, som består av 97% polystyren, är utvunnen och framställd av olja som är allmänt känt energikrävande i utvinning.

Studerar ingående material var för sig, utmärker sig framförallt betong, tegel, mineralull, lösull och lättbetong för att vara energikrävande i tillverkningsprocessen (Tabell 14-17). Observera att i tillverkningen för betong, lättbetong och bruk är det cementtillverkningen som är den överlägset mest krävande processen. Vid tillverkning av betong står exempelvis cementet för 98% av energiförbrukningen, se Bilaga 3. Material som däremot inte förbrukar lika mycket energi i tillverkningen är framför allt plastbaserade material (både plastfolie, underlagspapp och cellplast) men även trä, stål och sten (makadam). Observera att jämförelserna görs med hänsyn till mängden material i väggen. Kanske görs en orättvis jämförelse för betong, lättbetong och bruk, där framställningen av cement är inkluderad i tillverkningsenergin, men inte framställningen av andra ingående komponenter för övriga material.

8.3 Livslängd

Genom att studera de två hus som förbrukar minst respektive mest energi under 100 år (tillsammans med tillverkningsenergi) visar det sig att Emrahuset

förbrukar 463 945 kWh och Ytonghuset 501 750 kWh. Det är en skillnad på 37 805 kWh och innebär i teorin att Emrahuset kan stå 8,6 år längre än Ytonghuset och förbruka samma mängd energi.

I början av denna rapport nämndes att signifikant för ett passivhus är dess isolering, täthet och ventilationssystem. Om förutsättningen ges att husen ska brukas i 100 år och det är känt att isoleringen och ventilationssystemet uppfyller önskade funktioner under denna tid, vad innebär det då om tätheten försvinner efter 25 år? Vilken energiförbrukning skulle ett passivhus då få? Det är känt att tejp och fogskum står för största delen av tätheten i Emrahuset. Om, som byggvarudeklarationen anger, fogskummet inte uppfyller sin funktion de resterande 75 åren, hur stora blir då husets transmissionsförluster genom luftläckage? Dessutom ställer BBR krav på en livslängd på 50 år för utbytbara delar i en konstruktion. Frågan är om tejp och fogskummet ens klarar dessa krav, då tillverkarna uppger en förväntad livslängd < 50 år. Att jämföra Emrahuset med Ytonghuset, som endast består av lättbetong, med hänsyn till detta resonemang gör att skillnaden i tillverkningsenergi känns obetydlig och att livslängden istället spelar en större roll. Det borde vara viktigare att ha ett hus som klarar 100 års livslängd, med en något dyrare tillverkningsenergi. Tillverkningsenergin visar sig även endast utgöra ca 12% (för Ytonghuset) av summan av den sammanlagda årliga specifika energiförbrukningen under 100 år och tillverkningsenergin för huset.

Genom denna rapport är det rimligt att hävda att det lönar sig rent energimässigt att bygga hus som är passivhusklassificerade. Figur 20 stärker detta resonemang, där det går att utläsa att Konventionella huset använder i stora drag 80 000 kWh mer än de husen som är passivhusklassificerade (beräknat på 100 år) om hänsyn tas till både tillverkningsenergi och årlig specifik energianvändning samman. Dock är det av stor vikt att välja material med lång livslängd vilket medför att dess funktion varar under hela husets livslängd. Om materialens funktion bibehålls under hela den tid då huset brukas kan man räkna med att de tre aspekterna (isolering, täthet och ventilation) som karakteriserar ett passivhus bevaras. En långvarig funktion resulterar i samma låga specifik energianvändning under hela brukningsskedet. Skulle, som ett exempel, det material som verkar tätande mista sin funktion så höjs den årliga specifik energianvändningen eftersom den uppvärmda luften läcker ut genom byggnadens klimatskal.

Å andra sidan innehåller Passivhuset trä och mineralull som är mindre beständiga mot fuktpåverkan och riskerar att angripas av exempelvis mögel. Vid ett korrekt uppförande av trä anses det dock ha samma livslängd som övriga material byggnaden. Detta innebär att med vald tegelfasad kan även Passivhuset ha en livslängd på 100 år. Att sätta tegel som fasadbeklädnad kan

till en första anblick ses som väldigt energikrävande under tillverkningsprocessen men då dess livslängd är över 100 år kan det löna sig. Dessutom finns möjligheten att använda återvunnet tegel. Det finns inga uppgifter från tillverkare som säger att en fasad med puts håller längre än 50 år. Passivhuset innehåller även den en viss mängd tejp, vars livslängd bör beaktas.

Samtliga hus har papp som taktäckning. Papp har en uppskattad livslängd på >30 år, vilket är en något lägre siffra än de flesta övriga material. Dessutom innehåller papp asfalt som kan vara skadligt för miljön. Ett bättre alternativ som taktäckning, kan vara tegelpannor. Tegelpannor tillverkas på samma sätt som tegelstenar (principiellt) och kommer därför vara energikrävande. Men av samma anledning (hållbarhet och återvinning) skulle det kanske löna sig i längden.

9 Slutsats

De slutsatser som sammanfattar detta examensarbete föreligger enligt följande:

De passivhusklassificerade husen har en årliga specifik energianvändning som är 37% lägre än vad Konventionella huset har.

Det mest energikrävande materialet under tillverkningsprocessen är isoleringsmaterialet för Ytonghuset, multiporblocket. Strax efter detta block på andra plats, kommer lättbetongblocken i ytterväggen för Ytonghuset. Dessa två block har en tillverkningsenergi på 101 kWh/m² respektive 74 kWh/m². Detta är räknat utifrån de dimensioner som valts på respektive material. Skulle en mer jämförbar jämförelse föras rent generellt sett för alla material visar det sig att tegel är det material som är mest energikrävande under tillverkningen. Detta grundar sig på att den totala energiförbrukningen har delats upp på lika stor mängd material, vare sig det är tegel, isolering eller lättbetong.

Emrahuset är det hus som kräver minst energi under dess tillverkningsstadiet. Huset kräver 21 945 kWh med valda förutsättningar, vilket är 1/3 av Ytonghusets tillverkningsenergi på 59 750 kWh. Även Emrahuset står för den ytterväggskonstruktion som har lägst energiförbrukning per m² under tillverkningen. Dess yttervägg har en energiförbrukning på 25 kWh/m². Vad som bör beaktas i sammanhanget är dess livslängd, då både tätningstejpen och fogskummet har en livslängd på mindre än 50 år. Fogskummet har i praktiken en livslängd på 1-25 år, och vad detta innebär för konstruktionen är ännu okänt men vad som är känt är att ett ökat luftläckage genom otätheter påverkar den specifika energiförbrukningen negativt. Med detta resonemang borde Ytonghuset, trots den höga tillverkningsenergin, vara det hus som ger det bästa slutresultatet, när årlig specifik energiförbrukning, tillverkningsenergi och livslängdsbedömning vägs samman. Att från början investera i ett långsiktigt hållbart hus lönar sig, framför att behöva byta material som tappat sin funktion. Att byta material är inte heller sannolikt att man i praktiken gör, snarare reflekterar man som konsument inte över den ökade specifika energianvändningen (utan betalar omedvetet den förhöjda elräkningen).

Att bygga lågenergihus, såsom passivhus, är ett lönsamt alternativ för att sträva åt husens totala energianvändning. Viktigt att beakta är vilka material som väljs och att uppmärksamma materialens livslängd, så att huset bibehåller sin funktion och låga specifika energiförbrukning över tiden.

10 Förslag till fortsatt arbete

De möjligheter för vidareutveckling som är intressant att göra med hjälp av detta arbete är att räkna om vad de olika husen skulle komma att kosta i kronor [SEK]. På så sätt kan detta användas av småhusleverantörer i sin marknadsföring.

En annan tanke är att titta närmare på tillverkningsprocessen och att ta reda på vilka råvaror som är mest energikrävande i tillverkningen och möjligtvis hitta en ersättande råvara som sänker den totala energiförbrukningen vid tillverkning av materialet. Skulle detta vara för komplext kan man titta vidare på framställningen av materialet och att finna ett alternativt sätt att framställa materialet till en lägre energikostnad. Att göra en komplett LCA för husen skulle också vara mycket användbart.

Den sista tanken är att byta ut materialen mot material som redan består av mestadels eller helt av återvunna råvaror i sin framställning. På så sätt finns möjligheten att spara energi vid tillverkningen.

11 Referenser

- Bewi (2011). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Styrolit*. Genevad.
- Bokalders, V., M. Block and L. Kindgren (2009). *Byggekologi : kunskaper för ett hållbart byggande*. Stockholm, Svensk Byggtjänst.
- Boverket (2011). Boverkets författningssamling - boverkets byggregler BBR 20. *BFS 2013:14*.
- Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial : uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund, Studentlitteratur.
- Byggkatalogen Geotextilduk. Retrieved 20140508, 2014, from www.byggkatalogen.byggtjanst.se.
- Byggolit AB (2013). *Byggvarudeklaration BVD 3 - EPS-cellplast*. Vara.
- Byggolit Byggolit AB Sweden. Retrieved 2014-05-09, from www.byggolit.se.
- ByggolitAB (2013). *Byggvarudeklaration BVD 3*. Vara, Kretsloppsrådet.
- Cederqvist, S. Mailkorrespondens 2014-04-10 (2014) VD Byggolit AB.
- Celsa Steel Service AB (2011) *Steel reinforcement products for concrete- EPD*
- Ekstrand, B. Mailkorrespondens 2014-04-15 (2014) VD Ekstrands.
- Ekstrands (2012). *Produktblad*, Ekstrands Allboard.
- Emrahus Emrahus. Retrieved 2014-04-29, 2014, from www.emrahus.se.
- Energimyndigheten Statens energimyndighet. Retrieved 20140424, 2014, from www.energimyndigheten.se.
- Energimyndigheten (2013) "Energiläget 2013."
- Engdahl, F. Mailkorrespondens 2014-04-28 (2014) Chef affärsutveckling Imtech.
- Gyproc (2012a). *Byggvarudeklaration BVD 3-Tejp*. Bålsta.
- Gyproc AB (2012b). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Gipsskiva*. Bålsta.
- Hökfors, B. Mailkorrespondens 2014-03-28 (2014) Projektledare utvecklingsavdelningen Cementa.
- Isola (2007a). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Takpapp*. Solna.
- Isola (2007b). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Underlagspapp*. Kristianstad.
- Isover SAINT-GOBAIN (2013a). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Lösull*. Billesholm.
- Isover SAINT-GOBAIN (2013b). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Skalmursskiva 33*. Billesholm.
- Isover SAINT-GOBAIN (2013c). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Takborad 33*. Billesholm.
- Isover SAINT-GOBAIN (2013d). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Takstolsskiva P37*. Billesholm.
- Isover SAINT-GOBAIN (2013e). *Byggvarudeklaration BVD 3 - UNI skiva 33*. Billesholm.
- Isover SAINT-GOBAIN. Retrieved 2014-04-25, from www.isover.se.

Kretsloppsrådet. Retrieved 20140428, 2014, from www.kretsloppsradet.com.

Lindab (2013). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Plåtprofil*. Bålstad.

Lindab. Retrieved 2014-05-13, 2014, from www.lindab.com/se.

Lindholm, S. Mailkorrespondens 2014-04-11 (2014) Isover SAINT-GOBAIN.

Mörnhed, M. H. Mailkorrespondens 2014-04-10 (2014) Konstruktör Tegemäster.

Nilan (2014). *Produktdatablad - Compact P ventilation - och värmesystem*.

Nollenergihus, S. C. f. (2012). Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus , Bostäder FEBY 12.

Passive Huse Institute, P. Retrieved 2014-04-22, 2014, from www.passiv.de.

Penaloza, D., J. Norén and P.-E. Eriksson (2013). "Life Cycle Assessment of Different Systems: The Wälludden Case Study " *SP Wood Technology*.

Rani Plast Oy AB (2010). *Byggvarudeklaration - Plastfolie*. Terjärv, Finland.

Sandin, K. (2007). *Praktisk husbyggnadsteknik*. Lund, Studentlitteratur.

Sandin, K. (2010). *Praktisk byggnadsfysik*. Lund, Studentlitteratur.

Sika Sverige AB (2011). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Tätningsfoam*. Spånga.

Sjunnesson, H.-Å. Mailkorrespondens 2014-05-08 (2014) Administrativ chef, kvalité och miljöansvarig Byggolit AB.

SP SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Retrieved 20140513, 2014, from www.sp.se.

SP (2013). *Typgodkännandebevis SC1789-12*, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Stålbyggnadsinstitutet Stålbyggnadsinstitutet. Retrieved 20140513, 2014, from www.sbi.se.

Svenskt Limträ AB, IVL Svenska Miljöinstitutet (2007). *Miljödeklaration - Trä*. Stockholm.

Sydsten (2007). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Fabriksbetong*. Malmö.

Tegelmäster (2013). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Tegel*. Bara.

Tegelmäster. Retrieved 2014-05-08, from www.tegelmaster.se.

Warfvinge, C. and M. Dahlblom (2012). *Projektering av VVS-installationer*. Lund, Studentlitteratur.

Weber (2010). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Fasadputs*. Solna.

Weber (2012). *Byggvarudeklaration BVD 3 - Murbruk*.

Weber (2013a). *Produktblad - Fasadputs*.

Weber (2013b). *Produktdatablad, Färgat murbruk M2,5*.

Weywadt, P. Mailkorrespondens 2014-03-28 (2014) Sydsten.

Xella Ytong - Silka. Retrieved 2014-04-29, 2014, from www.xella.se.

Xella Institut Bauen und umwelt e.V (2009a). *Umwelt-Produktdeklaration - Lättbetong*. Duisburg, Tyskland.

Xella Institut Bauen und umwelt e.V (2009b). *Umwelt-Produktdeklaration - Multipor*. Duisburg, Tyskland.

Xella (2009c). *Ytong Daekement - Tekniske Data*.

12 Bilagor

12.1 Bilaga 1 - U-värdesberäkningar

U-värdesberäkningar till Konventionella huset.

Följande beräkningar, formler och värden är hämtat från Praktisk Husbyggnadsfysik (Sandin 2010) om inget annat anges.

Platta på mark

Tabell 18

Beräkning av värmeövergångsmotstånd för grunden i Konventionella huset.

Material	Tjocklek [mm]	Lambda, λ [W/m·°C]	R [W/m²K]
R _{si}			0,17
Betong	150	1,7	0,088
Isover Styrolit (EPS-cellplast)	200	0,038 ²	5,263
Makadam	200	1,0	0,2
Fiberduk	1	0	
Lera			1,0
ΣR			6,761

²(Isover 2014)

0-1 m från yttervägg:

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{6,761} = 0,148 \text{ W/m}^2\text{K}$$

1-6 m från yttervägg:

$$6,761 - 1,0 + 3,4 = 9,161 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{9,161} = 0,109 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Total yta: 95 m²

$$1-6 \text{ m: } 5,2 \cdot 11,2 = 58,2 \text{ m}^2$$

$$0-1 \text{ m: } 95 - 58,2 = 36,8 \text{ m}^2$$

$$U_{medel} = \frac{58,2 \cdot 0,109 + 36,8 \cdot 0,148}{95} = 0,124 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Denna grund klarar BBRs krav som är 0,15 W/m²K (Boverket 2011).

Yttervägg

Tabell 19

Beräkning av värmövergångsmotstånd för ytterväggen i Konventionella huset.

Material	Tjocklek [mm]	Lambda, λ [W/m $\cdot$ °C]	R [W/m 2 K]
R _{si}			0,13
Gips	13	0,22	0,059
Isover Vario Duplex (ångspärr)	1	0	0
Isover UNI-skiva 33(mineralull)	120	0,033 ²	3,636
Träreglar	120	0,14	0,857
Isover Skalmursskiva (vindskiva)	70	0,033 ²	2,121
Luftspalt, väl ventilerad	25	0	0
(Tegel)	120	0,6	0,2)
R _{se}			0,13
ΣR			6,933

²(Isover 2014)

$$U_{\lambda} = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{6,933} = 0,144 \text{ W/m}^2\text{K}$$

U-värdesmetoden

Tabell 20

Beräkning av värmövergångsmotstånd för ytterväggen i Konventionella huset.

Material	Lambda, λ [W/m $\cdot$ °C]	R _{isol} [W/m 2 K]	R _{trä} [W/m 2 K]
R _{se}		0,13	0,13
Tegel		0	0
Luftspalt		0	0
Mineralull (70)	0,033	2,121	-
Mineralull (120)	0,033	3,636	-
Träreglar (120)	0,14	-	0,857
Plast	0	0	0
Gips	0,22	0,059	0,059
R _{si}		0,13	0,13
ΣR		6,076	1,176

$$\alpha = 0,9$$

$$\beta = 0,1$$

$$U_u = \alpha \cdot U_{isol} + \beta \cdot U_{trä} = 0,9 \cdot \frac{1}{6,076} + 0,1 \cdot \frac{1}{1,176} = 0,233 \text{ W/m}^2\text{K (ekvation 2:44,)}$$

$$U_{med} = \frac{2 \cdot U_{\lambda} \cdot U_u}{U_{\lambda} + U_u} = \frac{2 \cdot 0,144 \cdot 0,233}{0,144 + 0,233} = 0,178 \approx 0,18 \text{ W/m}^2\text{K (ekvation 2:46)}$$

Detta ger att en isolering på 120 mm gör att väggens U-värde uppgår till 0,18 W/m 2 K, vilket även är BBRs krav (Boverket 2011).

Tak

Tabell 21

Beräkning av värmövergångsmotstånd för taket i Konventionella huset.

Material	Tjocklek [mm]	Lambda, λ [W/m·°C]	R [W/m²K]
R _{si}			0,1
Gips	13	0,22	0,059
Isover Takstolsskiva P 37 (mineralull)	95	0,037 ²	2,568
Träreglar	95	0,14	0,679
Isover Vario Duplex (ångspärr)	1	0	0
Isover Takstolsskiva P 37 (mineralull)	195	0,037	5,27
Träreglar	220	0,14	1,571
Luftspalt, välventilerad	25	0	0
R _{se}			0,1
ΣR			10,347

²(Isover 2014)

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{10,347} = 0,0966 \text{ W/m}^2\text{K}$$

U-värdesmetoden

Tabell 22

Beräkning av värmövergångsmotstånd för taket i Konventionella huset.

Material	Lambda, λ [W/m·°C]	R _{isol} [W/m²K]	R _{trä} [W/m²K]
R _{si}		0,10	0,10
Gips	0,22	0,059	0,059
Isover Takstolsskiva P37 (mineralull)	0,037	2,568	-
Träreglar	0,14	-	0,679
Isover Vario Duplex (ångspärr)	0	0	0
Isover Takstolsskiva P37 (mineralull)	0,037	5,27	-
Träreglar	0,14	-	1,571
Luftspalt, välventilerad	0	0	0
R _{se}		0,10	0,10
ΣR		8,097	2,509

$$\alpha = 0,9$$

$$\beta = 0,1$$

$$U_u = \alpha \cdot U_{isol} + \beta \cdot U_{trä} = 0,9 \cdot \frac{1}{8,097} + 0,1 \cdot \frac{1}{2,509} = 0,151 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (ekvation 2:44)}$$

$$U_{med} = \frac{2 \cdot U_{\lambda} \cdot U_u}{U_{\lambda} + U_u} = \frac{2 \cdot 0,0966 \cdot 0,151}{0,0966 + 0,151} = 0,1178 \approx 0,12 \text{ W/m}^2\text{K (ekvation 2:46)}$$

Detta U-värde klarar BBRs krav som är 0,13 W/m²K (Boverket 2011).

12.2 Bilaga 2 - Beräkning av årlig specifik energianvändning



Resultat från energiberäkning

2014-05-14 16:00

Objekt: Konventionella huset 20140428
Utförd av: Studielicens, LTH Installationsteknik
Beräkning enligt BBR 2012.

Sammanfattning

Klimatzon: III Södra Sverige
Närmaste ort: Lund Län: Skåne län
Atemp bostad: 176,8 Atemp lokal: 0,0

Beräknad specifik energianvändning: 68 kWh/m².år
BBR:s krav på uppmätt energianvändning: 90 kWh/m².år

BBR rekommenderar att använda säkerhetsmarginaler så att kraven på specifik energianvändning verkligen uppfylls när byggnaden tagits i bruk.

Summa installerad eleffekt för uppvärmning: 0,0 kW

BBR klassar byggnaden som ej eluppvärmd.

Klaras kraven?

Den beräknade specifika energianvändningen är 25% lägre än BBR:s krav på uppmätt specifik energianvändning.

Denna marginal borde vara tillräcklig.

Begreppsförklaringar till värmebalansen nästa sida

Förluster

Trans	Transmissionsförluster
Vent	Ventilation och luftläckage
Vatten	Vattenförluster - antas vara lika med energi till varmvattenuppvärmning

Tillskott

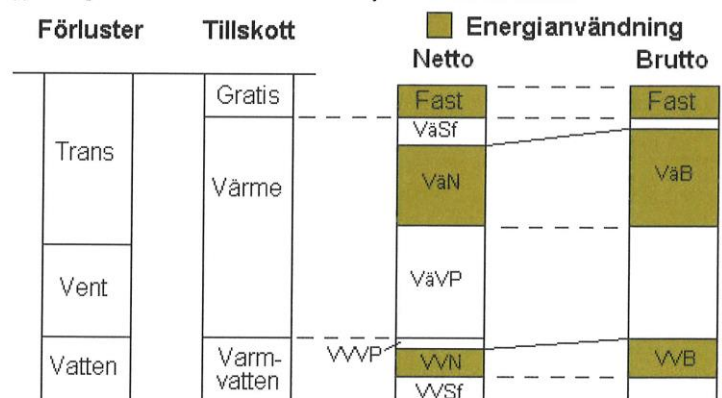
Gratis	Utnyttigbar del av personvärme, hushållsel eller verksamhetsel, fastighetsel samt infallande solenergi genom fönster
Värme	Energi till byggnadens uppvärmning
Varmvatten	Energi till varmvattenuppvärmning

Energianvändning

Fast	Fastighetsel
VaSf	Energi från solfångare till värme
VVSf	Energi från solfångare till varmvatten
VaVP	Värmebesparing med värmepump
VVVP	Varmvattenbesparing med värmepump
nVa	Värmesystemets verkningsgrad för värme
nVV	Värmesystemets verkningsgrad för varmvatten
VaN	Värme Netto = Värme - VaSf - VaVP
VVN	Varmvatten Netto = Varmvatten - VVSf - VVVP
VaB	Värme Brutto = VaN / nVa
VVB	Varmvatten Brutto = VVN / nVV

Principfigur

Staplarnas storlek stämmer inte med tabellvärdena. Specifik energianvändning är energianvändning under ett normalår per m² uppvärmd golvarea. Det är bruttovärdet som ska jämföras med BBR:s krav.





BOSTAD

Värmebalans, kWh

Månad	Förluster			Tillskott			Energianv. Brutto		
	Trans	Vent	Vatten	Gratis	Värme	Varmvatten	Fast	VäB + VVB	Kyla
Jan	1551	1477	340	963	2065	340	127	1872	0
Feb	1441	1372	307	1001	1812	307	115	1645	0
Mar	1388	1322	340	1266	1444	340	127	1343	0
Apr	1101	1048	329	1458	691	329	123	699	0
Maj	732	697	340	1136	293	340	127	365	0
Jun	476	453	329	815	114	329	123	209	0
Jul	336	320	340	600	56	340	127	163	0
Aug	373	355	340	658	70	340	127	175	0
Sep	588	560	329	939	209	329	123	290	0
Okt	938	893	340	1092	739	340	127	744	0
Nov	1187	1130	329	1054	1263	329	123	1186	0
Dec	1470	1399	340	947	1922	340	127	1750	0
Totalt	11581	11026	4000	11929	10678	4000	1500	10440	0

ISOVER Energi 3
Objekt: Konventionella huset 20140428

LTH Installationsteknik

Sida 3 (5)

Indata	Bostad	Lokal
Genomsnittlig rumshöjd, m	2,4	0
Genomsnittlig innetemperatur, °C	21	0
Infiltration inkl. fönstervädring, oms/h	0,15	0
Ventilationsflöde, l/s per m²	0,35	-
Ventilationsflöde q-medel	-	0
Ventilationsflöde q (endast då lokal klassas som elvärmd)	-	0
Värmeväxling, verkningsgrad, %	0	0
Installerad el-effekt för ventilation, kW	0	0
Hushållsenergi, kWh/år	6750	0
Fastighetsenergi, kWh/år	1500	0
Antal personer, genomsnitt, st	4	0
Årsvärmefaktor	3	0
Dimensionerad för x% av varmvattenbehovet, %	100	0
Dimensionerad för y% av husuppvärmningen, %	25	0
Installerad el-effekt för drift av värmepump, kW	0	0
Verkningsgrad Värme, %	98	0
Verkningsgrad Varmvatten, %	98	0
Installerad el-effekt för uppvärmning, kW	0	0
Solfångare för varmvatten, kWh/år	0	0
Solfångare för värme, kWh/år	0	0
Varmvattenberedning, brutto, kWh/år	4000	0
Installerad el-effekt för varmvattenberedning, kW	0	0
Komfortkyla, elektriska kylmaskiner, kWh	0	0
Komfortkyla, övrigt, kWh	0	0

Klimatdata	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Utetemperatur (°C)	0,0	-0,6	2,2	5,6	11,1	14,4	16,7	16,1	12,8	8,3	4,4	1,1
Globalstrålning (kWh/m²)	14	26	57	114	152	155	166	129	78	43	21	10

Byggnadsdata, bostad/utomhus

Golvarea, m²: 176,8

Volym, m³: 424,32

Yta	Area, m²	U, W/m², °C	Orientering, °
GRUND	95,0	0,14	
Tak Norr	65,9	0,13	
TF	1,3	1,30	
Tak Söder	64,6	0,13	
TF	2,6	1,30	
Yttervägg Norr	48,1	0,18	0
F4	0,9	1,30	
F6	0,5	1,30	
F7	0,3	1,30	
F5	1,0	1,30	
Yttervägg Söder	42,8	0,18	180
F2	3,7	1,30	
F1	2,5	1,30	

ISOVER Energi 3
Objekt: Konventionella huset 20140428

LTH Installationsteknik

Sida 4 (5)



FD1	1,8	1,30	
Yttervägg Väster	37,9	0,18	90
FD1	1,8	1,30	
F3	2,8	1,30	
Yttervägg Öster	37,1	0,18	90
YD1	2,0	1,30	
F8	0,3	1,30	
F9	1,7	1,30	
F3	1,4	1,30	

Köldbrygga	Längd, m	Psi, W/m,K
Platta på mark - Dubbla L-element - Teg	40,80	0,07
Fönster och dörrar med infästning i trä	91,14	0,02
Yttervägg trä / mellanbjälklag trä	40,80	0,03
Yttervägg trä / Vindsbjälklag trä	33,28	0,03
Ytterhörn / Innerhörn / Takvinkel	26,40	0,03



Resultat från Um-beräkning

2014-05-07 10:12

Objekt: Konventionella huset 20140428, Bostad - Utomhus
Utförd av: Studielicens, LTH Installationsteknik

Sammanfattning

$U_m = (\text{Summa } U \cdot A + \text{Summa } \Psi \cdot L) / A_{om} = 0,24 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$

$U_m \text{ krav} = 0,40 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$

Byggnaden uppfyller kraven på värmeisolering.

Yta	U (W/m ² , °C)	A (m ²)	U*A
1. GRUND	0,14	95,0	13,11
2. Yttervägg Norr	0,18	48,1	8,61
3. F6	1,30	0,5	0,65
4. F4	1,30	0,9	1,17
5. F7	1,30	0,3	0,39
6. F5	1,30	1,0	1,30
7. Yttervägg Väster	0,18	37,9	6,78
8. FD1	1,30	1,8	2,34
9. F3	1,30	2,8	3,64
10. Yttervägg Öster	0,18	37,1	6,64
11. YD1	1,30	2,0	2,60
12. F8	1,30	0,3	0,39
13. F9	1,30	1,7	2,21
14. F3	1,30	1,4	1,82
15. Yttervägg Söder	0,18	42,8	7,66
16. F2	1,30	3,7	4,81
17. F1	1,30	2,5	3,25
18. FD1	1,30	1,8	2,34
19. Tak Norr	0,13	65,9	8,37
20. TF	1,30	1,3	1,69
21. Tak Söder	0,13	64,6	8,20
22. TF	1,30	2,6	3,38
Aom & Summa U*A		416,00	91,36

Köldbrygga	Ψ (W/m, °C)	L (m)	Ψ*L
Platta på mark - Dubbla L-element - Tegelfasa	0,07	40,80	2,75
Fönster och dörrar med infästning i träregel	0,02	91,14	2,12
Yttervägg trä / mellanbjälklag trä	0,03	40,80	1,34

ISOVER Energi 3
Objekt: Konventionella huset 20140428
LTH Installationsteknik

Sida 1 (8)



Yttervägg trä / Vindsbjälklag trä	0,03	33,28	0,98
Ytterhörn / Innerhörn / Takvinkel	0,03	26,40	0,79
Längd köldbrygga & Summa Psi*L		232,42	7,98



Använda konstruktioner

Typ 1.

konventionella grund (konstruktion)

Värmeövergångsmotstånd inne R_{si} : 0,17 m²·°C/W

Värmeövergångsmotstånd ute R_{se} : 0,04 m²·°C/W

U-värde: 0,138 W/m²·°C

Typ 2.

Tak Söder

	(mm)	(W/m,°C)	(%)	(W/m,°C)
GIPS	13	0,22		
Mineralull	120	0,037	10	0,14
Isover Plastfolie	1			
Isover Takstolsskiva P	220	0,037	10	0,14
Luftspalt, väl ventilerad	25			
råspont	22	0,14		
Isover Takboard 33	20	0,033		
takpapp	1			

Värmeövergångsmotstånd inne R_{si} : 0,10 m²·°C/W

Värmeövergångsmotstånd ute R_{se} : 0,04 m²·°C/W

U-värde: 0,127 W/m²·°C

Typ 3.

Yttervägg norr

	(mm)	(W/m,°C)	(%)	(W/m,°C)
GIPS	13	0,22		
Isover Plastfolie	1			
Isover UNI-skiva 33	120	0,033	12	0,14
Isover Skalmursskiva	80	0,033		
Luftspalt, väl ventilerad	25			
Tegel	120	0,6		

Värmeövergångsmotstånd inne R_{si} : 0,13 m²·°C/W

Värmeövergångsmotstånd ute R_{se} : 0,04 m²·°C/W

U-värde: 0,179 W/m²·°C



Använda fönstertyper

Typ 4.

F1

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 5.

F2

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 6.

F3

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 7.

F4

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 8.

F5

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 9.

F6

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 10.

F7

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 11.

F8

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 12.

F9

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 13.

TF

U-värde: 1,300 W/m²,K

ISOVER Energi 3
Objekt: Konventionella huset 20140428

LTH Installationsteknik

Sida 4 (8)



Använda dörrtyper

Typ 14.

FD1

U-värde: 1,300 W/m²,K

Typ 15.

YD1

U-värde: 1,300 W/m²,K

Byggnadsytor - Bostad

Yta 1.

GRUND

Konstruktion: konventionella grund (konstruktion)

Orientering: 0°

Nettoarea: 95,0 m²

Yta 2.

Yttervägg Norr

Konstruktion: Yttervägg norr

Orientering: 0°

Nettoarea: 48,1 m²

Yta 3.

F6

Konstruktion: F6

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,5 m²

Yta 4.

F4

Konstruktion: F4

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,9 m²



Yta 5.

F7

Konstruktion: F7

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,3 m²

Yta 6.

F5

Konstruktion: F5

Orientering: 0°

Nettoarea: 1,0 m²

Yta 7.

Yttervägg Väster

Konstruktion: Yttervägg norr

Orientering: 90°

Nettoarea: 37,9 m²

Yta 8.

FD1

Konstruktion: FD1

Orientering: 90°

Nettoarea: 1,8 m²

Yta 9.

F3

Konstruktion: F3

Orientering: 90°

Nettoarea: 2,8 m²

Yta 10.

Yttervägg Öster

Konstruktion: Yttervägg norr

Orientering: 90°

Nettoarea: 37,1 m²



Yta 11.

YD1

Konstruktion: YD1
Orientering: 90°
Nettoarea: 2,0 m²

Yta 12.

F8

Konstruktion: F8
Orientering: 90°
Nettoarea: 0,3 m²

Yta 13.

F9

Konstruktion: F9
Orientering: 90°
Nettoarea: 1,7 m²

Yta 14.

F3

Konstruktion: F3
Orientering: 90°
Nettoarea: 1,4 m²

Yta 15.

Yttervägg Söder

Konstruktion: Yttervägg norr
Orientering: 180°
Nettoarea: 42,8 m²

Yta 16.

F2

Konstruktion: F2
Orientering: 180°
Nettoarea: 3,7 m²



Yta 17.

F1

Konstruktion: F1
Orientering: 180°
Nettoarea: 2,5 m²

Yta 18.

FD1

Konstruktion: FD1
Orientering: 180°
Nettoarea: 1,8 m²

Yta 19.

Tak Norr

Konstruktion: Tak Söder
Orientering: 0°
Nettoarea: 65,9 m²

Yta 20.

TF

Konstruktion: TF
Orientering: 0°
Nettoarea: 1,3 m²

Yta 21.

Tak Söder

Konstruktion: Tak Söder
Orientering: 180°
Nettoarea: 64,6 m²

Yta 22.

TF

Konstruktion: TF
Orientering: 180°
Nettoarea: 2,6 m²



Resultat från energiberäkning

2014-05-14 15:46

Objekt: Emrahuset 20140514
Utförd av: Studielicens, LTH Installationsteknik
Beräkning enligt BBR 2012.

Sammanfattning

Klimatzon: III Södra Sverige
Närmaste ort: Lund Län: Skåne län
Atemp bostad: 176,8 Atemp lokal: 0,0

Beräknad specifik energianvändning: 25 kWh/m².år
BBR:s krav på uppmätt energianvändning: 55 kWh/m².år

BBR rekommenderar att använda säkerhetsmarginaler så att kraven på specifik energianvändning verkligen uppfylls när byggnaden tagits i bruk.

Summa installerad eleffekt för uppvärmning: 4,5 kW
BBR:s maximalt tillåten installerad eleffekt för uppvärmning: 5,7 kW (innehåller ett tillägg om Atemp är större än 130 m² och/eller q är större än 0,35 l/s per m²)

BBR klassar byggnaden som eluppvärmd.

Klaras kraven?

Den beräknade specifika energianvändningen är 54% lägre än BBR:s krav på uppmätt specifik energianvändning.

Denna marginal borde vara tillräcklig.

Begreppsförklaringar till värmebalansen nästa sida

Förluster

Trans	Transmissionsförluster
Vent	Ventilation och luftläckage
Vatten	Vattenförluster - antas vara lika med energi till varmvattenuppvärmning

Tillskott

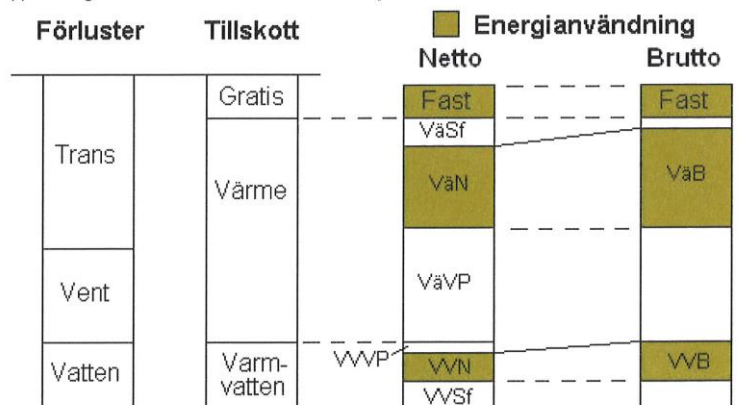
Gratis	Utnyttjbar del av personvärme, hushållsel eller verksamhetsel, fastighetsel samt infallande solenergi genom fönster
Värme	Energi till byggnadens uppvärmning
Varmvatten	Energi till varmvattenuppvärmning

Energianvändning

Fast	Fastighetsel
VaSf	Energi från solfångare till värme
VVSf	Energi från solfångare till varmvatten
VäVP	Värmebesparing med värmepump
VVVP	Varmvattenbesparing med värmepump
nVa	Värmesystemets verkningsgrad för värme
nVV	Värmesystemets verkningsgrad för varmvatten
VaN	Värme Netto = Värme - VaSf - VäVP
VVN	Varmvatten Netto = Varmvatten - VVSf - VVVP
VaB	Värme Brutto = VaN / nVa
VVB	Varmvatten Brutto = VVN / nVV

Principfigur

Staplarnas storlek stämmer inte med tabellvärdena. Specifik energianvändning är energianvändning under ett normalår per m² uppvärmd golvyta. Det är bruttovärdet som ska jämföras med BBR:s krav.





BOSTAD

Värmebalans, kWh

Månad	Förluster			Tillskott			Energianv. Brutto		
	Trans	Vent	Vatten	Gratis	Värme	Varmvatten	Fast	VäB + VVB	Kyla
Jan	889	512	340	911	490	340	127	522	0
Feb	826	476	307	876	426	307	115	457	0
Mar	796	458	340	979	275	340	127	342	0
Apr	631	363	329	902	92	329	123	186	0
Maj	419	242	340	640	21	340	127	131	0
Jun	273	157	329	428	2	329	123	111	0
Jul	193	111	340	303	1	340	127	114	0
Aug	214	123	340	336	1	340	127	114	0
Sep	337	194	329	525	6	329	123	115	0
Okt	537	310	340	780	67	340	127	169	0
Nov	680	392	329	887	185	329	123	264	0
Dec	842	485	340	900	427	340	127	469	0
Totalt	6637	3823	4000	8467	1993	4000	1500	2994	0

Indata	Bostad	Lokal
Genomsnittlig rumshöjd, m	2,4	0
Genomsnittlig innetemperatur, °C	21	0
Infiltration inkl. fönstervädring, oms/h	0,15	0
Ventilationsflöde, l/s per m²	0,35	-
Ventilationsflöde q-medel	-	0
Ventilationsflöde q (endast då lokal klassas som elvärmd)	-	0
Värmeväxling, verkningsgrad, %	84	0
Installerad el-effekt för ventilation, kW	0	0
Hushållsenergi, kWh/år	6750	0
Fastighetsenergi, kWh/år	1500	0
Antal personer, genomsnitt, st	4	0
Årsvärmefaktor	3	0
Dimensionerad för x% av varmvattenbehovet, %	100	0
Dimensionerad för y% av husuppvärmningen, %	25	0
Installerad el-effekt för drift av värmepump, kW	0,3	0
Verkningsgrad Värme, %	100	0
Verkningsgrad Varmvatten, %	100	0
Installerad el-effekt för uppvärmning, kW	2,4	0
Solfångare för varmvatten, kWh/år	0	0
Solfångare för värme, kWh/år	0	0
Varmvattenberedning, brutto, kWh/år	4000	0
Installerad el-effekt för varmvattenberedning, kW	1,8	0
Komfortkyla, elektriska kylmaskiner, kWh	0	0
Komfortkyla, övrigt, kWh	0	0

Klimatdata	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Utetemperatur (°C)	0,0	-0,6	2,2	5,6	11,1	14,4	16,7	16,1	12,8	8,3	4,4	1,1
Globalstrålning (kWh/m²)	14	26	57	114	152	155	166	129	78	43	21	10

Byggnadsdata, bostad/utomhus

Golvarea, m²:	176,8
Volym, m³:	424,32

Yta	Area, m²	U, W/m², °C	Orientering, °
Grund	95,0	0,09	
Tak, söder	64,6	0,10	
TF	2,6	0,80	
Tak, norr	65,9	0,10	
TF	1,3	0,80	
Yttervägg, norr	48,1	0,09	0
F4	0,9	0,80	
F6	0,5	0,80	
F7	0,3	0,80	
F5	1,0	0,80	
Yttervägg, söder	42,8	0,09	180
FD1	1,8	1,10	
F2	3,7	0,80	

ISOVER Energi 3
Objekt: Emrahuset 20140514

LTH Installationsteknik

Sida 4 (5)



F1	2,5	0,80	
Yttervägg, väst	37,9	0,09	270
FD1	1,8	1,10	
F3	2,8	0,80	
Yttervägg, öst	37,1	0,09	90
YD1	2,0	0,90	
F8	0,3	0,80	
F9	1,7	0,80	
F3	1,4	0,80	
Köldbrygga			
	Längd, m	Psi, W/m,K	
Platta på mark - Dubbla L-element	2,00	0,04	



Resultat från Um-beräkning

2014-05-09 14:30

Objekt: Emrahuset 20140507, Bostad - Utomhus
Utförd av: Studielicens, LTH Installationsteknik

Sammanfattning

$U_m = (\text{Summa } U \cdot A + \text{Summa } \Psi \cdot L) / A_{om} = 0,14 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$

$U_m \text{ krav} = 0,40 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$

Byggnaden uppfyller kraven på värmeisolering.

Yta	U (W/m ² , °C)	A (m ²)	U·A
1. Grund	0,09	95,0	8,55
2. Yttervägg, norr	0,09	48,1	4,14
3. F4	0,80	0,9	0,72
4. F6	0,80	0,5	0,40
5. F7	0,80	0,3	0,24
6. F5	0,80	1,0	0,80
7. Yttervägg, söder	0,09	42,8	3,68
8. FD1	1,10	1,8	1,98
9. F2	0,80	3,7	2,96
10. F1	0,80	2,5	2,00
11. Yttervägg, väst	0,09	37,9	3,26
12. FD1	1,10	1,8	1,98
13. F3	0,80	2,8	2,24
14. Yttervägg, öst	0,09	37,1	3,19
15. YD1	0,90	2,0	1,80
16. F8	0,80	0,3	0,24
17. F9	0,80	1,7	1,36
18. F3	0,80	1,4	1,12
19. Tak, norr	0,10	65,9	6,59
20. TF	0,80	1,3	1,04
21. Tak, söder	0,10	64,6	6,46
22. TF	0,80	2,6	2,08
Aom & Summa U·A		416,00	56,83

Köldbrygga	Ψ (W/m, °C)	L (m)	Ψ·L
Platta på mark - Dubbla L-element	0,04	2,00	0,08
Längd köldbrygga & Summa Ψ·L		2,00	0,08



Använda konstruktioner

Typ 1.

Platta på mark

Värmeövergångsmotstånd inne R_{si} : 0,00 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute R_{se} : 0,00 m², °C/W

U-värde: 0,090 W/m², °C

Typ 2.

Tak

	(mm)	(W/m, °C)	(%)	(W/m, °C)
GIPS	13	0,22		
Glespanel	28	0,14		
Isover Vario Duplex	1			
lösull	500	0,038	12	0,14
råspont	22	0,14		
Underlagspapp	1			
takpapp	1			

Värmeövergångsmotstånd inne R_{si} : 0,00 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute R_{se} : 0,00 m², °C/W

U-värde: 0,100 W/m², °C

Typ 3.

Yttervägg

	(mm)	(W/m, °C)	(%)	(W/m, °C)
Magnesiumoxidskiva	12	0,13		
Tätskikt	1			
EPS	500	0,034	0,8	1,7
Puts	12	1		

Värmeövergångsmotstånd inne R_{si} : 0,13 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute R_{se} : 0,04 m², °C/W

U-värde: 0,086 W/m², °C



Använda fönstertyper

Typ 4.

F1

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 5.

F2

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 6.

F3

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 7.

F4

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 8.

F5

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 9.

F6

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 10.

F7

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 11.

F8

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 12.

F9

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 13.

TF

U-värde: 0,800 W/m²,K



Använda dörrtyper

Typ 14.

FD1

U-värde: 1,100 W/m²,K

Typ 15.

YD1

U-värde: 0,900 W/m²,K

Byggnadsytor - Bostad

Yta 1.

Grund

Konstruktion: Platta på mark

Orientering: 0°

Nettoarea: 95,0 m²

Yta 2.

Yttervägg, norr

Konstruktion: Yttervägg

Orientering: 0°

Nettoarea: 48,1 m²

Yta 3.

F4

Konstruktion: F4

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,9 m²

Yta 4.

F6

Konstruktion: F6

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,5 m²



Yta 5.

F7

Konstruktion: F7
Orientering: 0°
Nettoarea: 0,3 m²

Yta 6.

F5

Konstruktion: F5
Orientering: 0°
Nettoarea: 1,0 m²

Yta 7.

Yttervägg, söder

Konstruktion: Yttervägg
Orientering: 180°
Nettoarea: 42,8 m²

Yta 8.

FD1

Konstruktion: FD1
Orientering: 180°
Nettoarea: 1,8 m²

Yta 9.

F2

Konstruktion: F2
Orientering: 180°
Nettoarea: 3,7 m²

Yta 10.

F1

Konstruktion: F1
Orientering: 180°
Nettoarea: 2,5 m²



Yta 11.

Yttervägg, väst

Konstruktion:	Yttervägg
Orientering:	270°
Nettoarea:	37,9 m ²

Yta 12.

FD1

Konstruktion:	FD1
Orientering:	270°
Nettoarea:	1,8 m ²

Yta 13.

F3

Konstruktion:	F3
Orientering:	270°
Nettoarea:	2,8 m ²

Yta 14.

Yttervägg, öst

Konstruktion:	Yttervägg
Orientering:	90°
Nettoarea:	37,1 m ²

Yta 15.

YD1

Konstruktion:	YD1
Orientering:	90°
Nettoarea:	2,0 m ²

Yta 16.

F8

Konstruktion:	F8
Orientering:	90°
Nettoarea:	0,3 m ²



Yta 17.

F9

Konstruktion: F9

Orientering: 90°

Nettoarea: 1,7 m²

Yta 18.

F3

Konstruktion: F3

Orientering: 90°

Nettoarea: 1,4 m²

Yta 19.

Tak, norr

Konstruktion: Tak

Orientering: 0°

Nettoarea: 65,9 m²

Yta 20.

TF

Konstruktion: TF

Orientering: 0°

Nettoarea: 1,3 m²

Yta 21.

Tak, söder

Konstruktion: Tak

Orientering: 180°

Nettoarea: 64,6 m²

Yta 22.

TF

Konstruktion: TF

Orientering: 180°

Nettoarea: 2,6 m²



Resultat från energiberäkning

2014-05-14 15:52

Objekt: Passivhuset 20140507
Utförd av: Studielicens, LTH Installationsteknik
Beräkning enligt BBR 2012.

Sammanfattning

Klimatzon: III Södra Sverige
Närmaste ort: Lund Län: Skåne län
Atemp bostad: 176,8 Atemp lokal: 0,0

Beräknad specifik energianvändning: 25 kWh/m².år
BBR:s krav på uppmätt energianvändning: 55 kWh/m².år

BBR rekommenderar att använda säkerhetsmarginaler så att kraven på specifik energianvändning verkligen uppfylls när byggnaden tagits i bruk.

Summa installerad eleffekt för uppvärmning: 4,5 kW
BBR:s maximalt tillåten installerad eleffekt för uppvärmning: 5,7 kW (innehåller ett tillägg om Atemp är större än 130 m² och/eller q är större än 0,35 l/s per m²)

BBR klassar byggnaden som eluppvärmd.

Klaras kraven?

Den beräknade specifika energianvändningen är 54% lägre än BBR:s krav på uppmätt specifik energianvändning.

Denna marginal borde vara tillräcklig.

Begreppsförklaringar till värmebalansen nästa sida

Förluster

Trans	Transmissionsförluster
Vent	Ventilation och luftläckage
Vatten	Vattenförluster - antas vara lika med energi till varmvattenuppvärmning

Tillskott

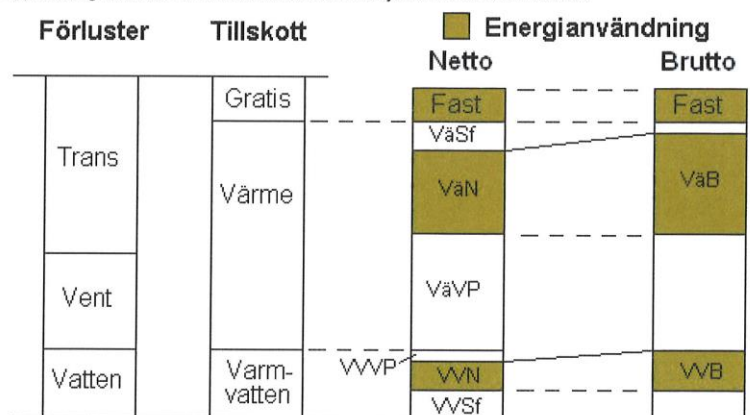
Gratis	Utnyttjbar del av personvärme, hushållsel eller verksamhetsel, fastighetsel samt infallande solenergi genom fönster
Värme	Energi till byggnadens uppvärmning
Varmvatten	Energi till varmvattenuppvärmning

Energianvändning

Fast	Fastighetsel
VaSf	Energi från solfångare till värme
VVSf	Energi från solfångare till varmvatten
VaVP	Värmebesparing med värmepump
VVVP	Varmvattenbesparing med värmepump
nVa	Värmesystemets verkningsgrad för värme
nVV	Värmesystemets verkningsgrad för varmvatten
VaN	Värme Netto = Värme - VaSf - VaVP
VVN	Varmvatten Netto = Varmvatten - VVSf - VVVP
VaB	Värme Brutto = VaN / nVa
VVB	Varmvatten Brutto = VVN / nVV

Principfigur

Staplarnas storlek stämmer inte med tabellvärdena. Specifik energianvändning är energianvändning under ett normalår per m² uppvärmd golvarea. Det är bruttovärdet som ska jämföras med BBR:s krav.





BOSTAD

Värmebalans, kWh

Månad	Förluster			Tillskott			Energianv. Brutto		
	Trans	Vent	Vatten	Gratis	Värme	Varmvatten	Fast	VäB + VVB	Kyla
Jan	884	512	340	906	490	340	127	522	0
Feb	821	476	307	874	423	307	115	455	0
Mar	791	458	340	973	276	340	127	343	0
Apr	627	363	329	899	91	329	123	185	0
Maj	417	242	340	639	20	340	127	130	0
Jun	271	157	329	426	2	329	123	111	0
Jul	192	111	340	302	1	340	127	114	0
Aug	213	123	340	335	1	340	127	114	0
Sep	335	194	329	523	6	329	123	115	0
Okt	534	310	340	778	66	340	127	168	0
Nov	676	392	329	881	187	329	123	265	0
Dec	837	485	340	891	431	340	127	472	0
Totalt	6598	3823	4000	8427	1994	4000	1500	2995	0

ISOVER Energi 3
Objekt: Passivhuset 20140507

LTH Installationsteknik

Sida 3 (5)

Indata

	Bostad	Lokal
Genomsnittlig rumshöjd, m	2,4	0
Genomsnittlig innetemperatur, °C	21	0
Infiltration inkl. fönstervädring, oms/h	0,15	0
Ventilationsflöde, l/s per m²	0,35	-
Ventilationsflöde q-medel	-	0
Ventilationsflöde q (endast då lokal klassas som elvärmd)	-	0
Värmeväxling, verkningsgrad, %	84	0
Installerad el-effekt för ventilation, kW	0	0
Hushållsenergi, kWh/år	6750	0
Fastighetsenergi, kWh/år	1500	0
Antal personer, genomsnitt, st	4	0
Årsvärmefaktor	3	0
Dimensionerad för x% av varmvattenbehovet, %	100	0
Dimensionerad för y% av husuppvärmningen, %	25	0
Installerad el-effekt för drift av värmepump, kW	0,3	0
Verkningsgrad Värme, %	100	0
Verkningsgrad Varmvatten, %	100	0
Installerad el-effekt för uppvärmning, kW	2,4	0
Solfångare för varmvatten, kWh/år	0	0
Solfångare för värme, kWh/år	0	0
Varmvattenberedning, brutto, kWh/år	4000	0
Installerad el-effekt för varmvattenberedning, kW	1,8	0
Komfortkyla, elektriska kylmaskiner, kWh	0	0
Komfortkyla, övrigt, kWh	0	0

Klimatdata

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Utetemperatur (°C)	0,0	-0,6	2,2	5,6	11,1	14,4	16,7	16,1	12,8	8,3	4,4	1,1
Globalstrålning (kWh/m²)	14	26	57	114	152	155	166	129	78	43	21	10

Byggnadsdata, bostad/utomhus

Golvarea, m²: 176,8

Volym, m³: 424,32

Yta	Area, m²	U, W/m², °C	Orientering, °
GRUND	95,0	0,08	
Tak passiv Norr	65,9	0,10	
TF	1,3	0,80	
Tak passiv Söder	64,6	0,10	
TF	2,6	0,80	
Yttervägg Norr	48,1	0,09	0
F4	0,9	0,80	
F6	0,5	0,80	
F7	0,3	0,80	
F5	1,0	0,80	
Yttervägg Söder	42,8	0,09	180
F2	3,7	0,80	
F1	2,5	0,80	

ISOVER Energi 3
Objekt: Passivhuset 20140507

LTH Installationsteknik

Sida 4 (5)



FD1	1,8	1,10	
Yttervägg Väster	37,9	0,09	90
FD1	1,8	1,10	
F3	2,8	0,80	
Yttervägg Öster	37,1	0,09	90
YD1	2,0	0,90	
F8	0,3	0,80	
F9	1,7	0,80	
F3	1,4	0,80	

Köldbrygga	Längd, m	Psi, W/m,K
Fönster och dörrar med infästning i trä	0,00	0,02
Yttervägg trä / mellanbjälklag trä	0,00	0,03
Yttervägg trä / Vindsbjälklag trä	0,00	0,03
Platta på mark - Dubbla L-element - Teg	1,00	0,07
Ytterhörn / Innerhörn / Takvinkel	1,00	0,03

ISOVER Energi 3
Objekt: Passivhuset 20140507

LTH Installationsteknik

Sida 5 (5)



Resultat från Um-beräkning

2014-05-07 10:20

Objekt: Passivhuset 20140507, Bostad - Utomhus
Utförd av: Studielicens, LTH Installationsteknik

Sammanfattning

$U_m = (\text{Summa } U \cdot A + \text{Summa } \Psi \cdot L) / A_{om} = 0,14 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$

$U_m \text{ krav} = 0,40 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$

Byggnaden uppfyller kraven på värmeisolering.

Yta	U (W/m ² , °C)	A (m ²)	U*A
1. GRUND	0,09	95,0	8,55
2. Yttervägg Norr	0,09	48,1	4,18
3. F4	0,80	0,9	0,72
4. F6	0,80	0,5	0,40
5. F7	0,80	0,3	0,24
6. F5	0,80	1,0	0,80
7. Yttervägg Väster	0,09	37,9	3,30
8. FD1	1,10	1,8	1,98
9. F3	0,80	2,8	2,24
10. Yttervägg Öster	0,09	37,1	3,23
11. YD1	0,90	2,0	1,80
12. F8	0,80	0,3	0,24
13. F3	0,80	1,4	1,12
14. F9	0,80	1,7	1,36
15. Yttervägg Söder	0,09	42,8	3,72
16. F2	0,80	3,7	2,96
17. F1	0,80	2,5	2,00
18. FD1	1,10	1,8	1,98
19. Tak passiv Söder	0,10	64,6	6,46
20. TF	0,80	2,6	2,08
21. Tak passiv Norr	0,10	65,9	6,59
22. TF	0,80	1,3	1,04
Aom & Summa U*A		416,00	56,99

Köldbrygga	Ψ (W/m, °C)	L (m)	Ψ*L
Fönster och dörrar med infästning i träregel	0,02	0,00	0,00
Yttervägg trä / mellanbjälklag trä	0,03	0,00	0,00
Yttervägg trä / Vindsbjälklag trä	0,03	0,00	0,00

ISOVER Energi 3
Objekt: Passivhuset 20140507

LTH Installationsteknik

Sida 1 (8)



Platta på mark - Dubbla L-element - Tegelfasa	0,07	1,00	0,07
Ytterhörn / Innerhörn / Takvinkel	0,03	1,00	0,03
Längd köldbrygga & Summa Psi*L		2,00	0,10

ISOVER Energi 3
Objekt: Passivhuset 20140507

LTH Installationsteknik

Sida 2 (8)



Använda konstruktioner

Typ 1.

konventionella grund (konstruktion)

Värmeövergångsmotstånd inne Rsi: 0,00 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute Rse: 0,00 m², °C/W

U-värde: 0,090 W/m², °C

Typ 2.

Tak Söder

	(mm)	(W/m, °C)	(%)	(W/m, °C)
GIPS	13	0,22		
Glespanel	28	0,14		
Isover Plastfolie	1			
lösull	500	0,038	10	0,14
råspont	22	0,14		
Underlagspapp	1			
takpapp	1			

Värmeövergångsmotstånd inne Rsi: 0,00 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute Rse: 0,00 m², °C/W

U-värde: 0,100 W/m², °C

Typ 3.

Yttervägg norr

	(mm)	(W/m, °C)	(%)	(W/m, °C)
GIPS	13	0,22		
Isover Plastfolie	1			
Isover UNI-skiva 33	380	0,033	12	0,14
Isover Fasadboard 33	80	0,033		
Luftspalt, väl ventilerad	25			
Tegel	120	0,6		

Värmeövergångsmotstånd inne Rsi: 0,13 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute Rse: 0,04 m², °C/W

U-värde: 0,087 W/m², °C



Använda fönstertyper

Typ 4.

F1

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 5.

F2

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 6.

F3

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 7.

F4

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 8.

F5

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 9.

F6

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 10.

F7

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 11.

F8

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 12.

F9

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 13.

TF

U-värde: 0,800 W/m²,K



Använda dörrtyper

Typ 14.

FD1

U-värde: 1,100 W/m²,K

Typ 15.

YD1

U-värde: 0,900 W/m²,K

Byggnadsytor - Bostad

Yta 1.

GRUND

Konstruktion: konventionella grund (konstruktion)

Orientering: 0°

Nettoarea: 95,0 m²

Yta 2.

Yttervägg Norr

Konstruktion: Yttervägg norr

Orientering: 0°

Nettoarea: 48,1 m²

Yta 3.

F4

Konstruktion: F4

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,9 m²

Yta 4.

F6

Konstruktion: F6

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,5 m²



Yta 5.

F7
Konstruktion: F7
Orientering: 0°
Nettoarea: 0,3 m²

Yta 6.

F5
Konstruktion: F5
Orientering: 0°
Nettoarea: 1,0 m²

Yta 7.

Yttervägg Väster
Konstruktion: Yttervägg norr
Orientering: 90°
Nettoarea: 37,9 m²

Yta 8.

FD1
Konstruktion: FD1
Orientering: 90°
Nettoarea: 1,8 m²

Yta 9.

F3
Konstruktion: F3
Orientering: 90°
Nettoarea: 2,8 m²

Yta 10.

Yttervägg Öster
Konstruktion: Yttervägg norr
Orientering: 90°
Nettoarea: 37,1 m²



Yta 11.

YD1

Konstruktion: YD1
Orientering: 90°
Nettoarea: 2,0 m²

Yta 12.

F8

Konstruktion: F8
Orientering: 90°
Nettoarea: 0,3 m²

Yta 13.

F3

Konstruktion: F3
Orientering: 90°
Nettoarea: 1,4 m²

Yta 14.

F9

Konstruktion: F9
Orientering: 90°
Nettoarea: 1,7 m²

Yta 15.

Yttervägg Söder

Konstruktion: Yttervägg norr
Orientering: 180°
Nettoarea: 42,8 m²

Yta 16.

F2

Konstruktion: F2
Orientering: 180°
Nettoarea: 3,7 m²



Yta 17.

F1

Konstruktion: F1
Orientering: 180°
Nettoarea: 2,5 m²

Yta 18.

FD1

Konstruktion: FD1
Orientering: 180°
Nettoarea: 1,8 m²

Yta 19.

Tak passiv Söder

Konstruktion: Tak Söder
Orientering: 0°
Nettoarea: 64,6 m²

Yta 20.

TF

Konstruktion: TF
Orientering: 0°
Nettoarea: 2,6 m²

Yta 21.

Tak passiv Norr

Konstruktion: Tak Söder
Orientering: 0°
Nettoarea: 65,9 m²

Yta 22.

TF

Konstruktion: TF
Orientering: 0°
Nettoarea: 1,3 m²



Resultat från energiberäkning

2014-05-14 15:55

Objekt: Ytonghuset 20140507
Utförd av: Studielicens, LTH Installationsteknik
Beräkning enligt BBR 2012.

Sammanfattning

Klimatzon: III Södra Sverige
Närmaste ort: Lund Län: Skåne län
Atemp bostad: 176,8 Atemp lokal: 0,0

Beräknad specifik energianvändning: 25 kWh/m².år
BBR:s krav på uppmätt energianvändning: 55 kWh/m².år

BBR rekommenderar att använda säkerhetsmarginaler så att kraven på specifik energianvändning verkligen uppfylls när byggnaden tagits i bruk.

Summa installerad eleffekt för uppvärmning: 4,5 kW
BBR:s maximalt tillåten installerad eleffekt för uppvärmning: 5,7 kW (innehåller ett tillägg om Atemp är större än 130 m² och/eller q är större än 0,35 l/s per m²)

BBR klassar byggnaden som eluppvärmd.

Klaras kraven?

Den beräknade specifika energianvändningen är 54% lägre än BBR:s krav på uppmätt specifik energianvändning.

Denna marginal borde vara tillräcklig.

Begreppsförklaringar till värmebalansen nästa sida

Förluster

Trans	Transmissionsförluster
Vent	Ventilation och luftläckage
Vatten	Vattenförluster - antas vara lika med energi till varmvattenuppvärmning

Tillskott

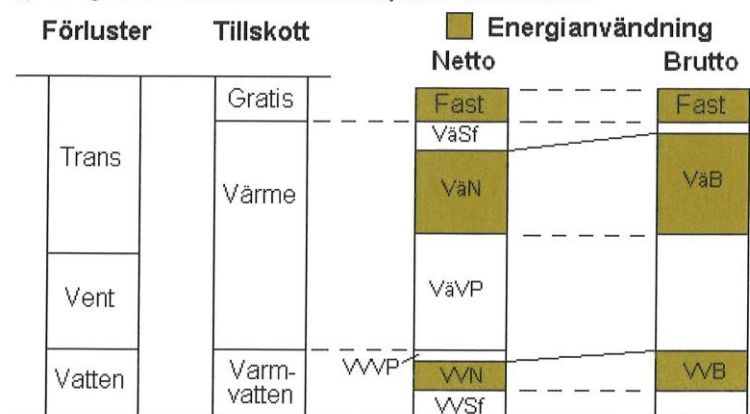
Gratis	Utnyttjbar del av personvärme, hushållsel eller verksamhetsel, fastighetsel samt infallande solenergi genom fönster
Värme	Energi till byggnadens uppvärmning
Varmvatten	Energi till varmvattenuppvärmning

Energianvändning

Fast	Fastighetsel
VaSf	Energi från solfångare till värme
VVSf	Energi från solfångare till varmvatten
VäVP	Värmebesparing med värmepump
VVVP	Varmvattenbesparing med värmepump
nVä	Värmesystemets verkningsgrad för värme
nVV	Värmesystemets verkningsgrad för varmvatten
VaN	Värme Netto = Värme - VaSf - VäVP
VVN	Varmvatten Netto = Varmvatten - VVSf - VVVP
VaB	Värme Brutto = VaN / nVä
VVB	Varmvatten Brutto = VVN / nVV

Principfigur

Staplarnas storlek stämmer inte med tabellvärdena. Specifik energianvändning är energianvändning under ett normalår per m² uppvärmd golvarea. Det är bruttovärdet som ska jämföras med BBR:s krav.





BOSTAD

Värmebalans, kWh

Månad	Förluster			Tillskott			Energianv. Brutto		
	Trans	Vent	Vatten	Gratis	Värme	Varmvatten	Fast	VäB + VVB	Kyla
Jan	889	512	340	910	491	340	127	522	0
Feb	826	476	307	876	426	307	115	457	0
Mar	796	458	340	979	275	340	127	342	0
Apr	631	363	329	902	92	329	123	186	0
Maj	420	242	340	641	21	340	127	131	0
Jun	273	157	329	428	2	329	123	111	0
Jul	193	111	340	303	1	340	127	114	0
Aug	214	123	340	336	1	340	127	114	0
Sep	337	194	329	525	6	329	123	115	0
Okt	538	310	340	781	67	340	127	169	0
Nov	680	392	329	887	185	329	123	264	0
Dec	843	485	340	901	427	340	127	469	0
Totalt	6640	3823	4000	8469	1994	4000	1500	2995	0

Indata	Bostad	Lokal
Genomsnittlig rumshöjd, m	2,4	0
Genomsnittlig innetemperatur, °C	21	0
Infiltration inkl. fönstervädring, oms/h	0,15	0
Ventilationsflöde, l/s per m²	0,35	-
Ventilationsflöde q-medel	-	0
Ventilationsflöde q (endast då lokal klassas som elvärmd)	-	0
Värmeväxling, verkningsgrad, %	84	0
Installerad el-effekt för ventilation, kW	0	0
Hushållsenergi, kWh/år	6750	0
Fastighetsenergi, kWh/år	1500	0
Antal personer, genomsnitt, st	4	0
Årsvärmefaktor	3	0
Dimensionerad för x% av varmvattenbehovet, %	100	0
Dimensionerad för y% av husuppvärmningen, %	25	0
Installerad el-effekt för drift av värmepump, kW	0,3	0
Verkningsgrad Värme, %	100	0
Verkningsgrad Varmvatten, %	100	0
Installerad el-effekt för uppvärmning, kW	2,4	0
Solfångare för varmvatten, kWh/år	0	0
Solfångare för värme, kWh/år	0	0
Varmvattenberedning, brutto, kWh/år	4000	0
Installerad el-effekt för varmvattenberedning, kW	1,8	0
Komfortkyla, elektriska kylmaskiner, kWh	0	0
Komfortkyla, övrigt, kWh	0	0

Klimatdata	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Utetemperatur (°C)	0,0	-0,6	2,2	5,6	11,1	14,4	16,7	16,1	12,8	8,3	4,4	1,1
Globalstrålning (kWh/m²)	14	26	57	114	152	155	166	129	78	43	21	10

Byggnadsdata, bostad/utomhus

Golvarea, m²: 176,8

Volym, m³: 424,32

Yta	Area, m²	U, W/m², °C	Orientering, °
Grund	95,0	0,08	
Tak, söder	64,6	0,10	
TF	2,6	0,80	
Tak, norr	65,9	0,10	
TF	1,3	0,80	
yttervägg norr YTONG	48,1	0,09	0
F4	0,9	0,80	
F6	0,5	0,80	
F7	0,3	0,80	
F5	1,0	0,80	
Yttervägg Söder YTONG	42,8	0,09	180
F2	3,7	0,80	
FD1	1,8	1,10	

ISOVER Energi 3
Objekt: Ytonghuset 20140507

LTH Installationsteknik

Sida 4 (5)



F1	2,5	0,80	
Yttervägg väst YTONG	37,9	0,09	270
FD1	1,8	1,10	
F3	2,8	0,80	
Yttervägg öst YTONG	37,1	0,09	90
YD1	2,0	0,90	
F8	0,3	0,80	
F9	1,7	0,80	
F3	1,4	0,80	

Köldbrygga	Längd, m	Psi, W/m,K
Platta på mark - Dubbla L-element	2,00	0,04



Resultat från Um-beräkning

2014-05-07 11:50

Objekt: Ytonghuset 20140507, Bostad - Utomhus
Utförd av: Studielicens, LTH Installationsteknik

Sammanfattning

$U_m = (\text{Summa } U \cdot A + \text{Summa } \Psi \cdot L) / A_{om} = 0,14 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$

$U_m \text{ krav} = 0,40 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$

Byggnaden uppfyller kraven på värmeisolering.

Yta	U (W/m ² , °C)	A (m ²)	U*A
1. Grund	0,09	95,0	8,55
2. yttervägg norr YTONG	0,09	48,1	4,28
3. F4	0,80	0,9	0,72
4. F6	0,80	0,5	0,40
5. F7	0,80	0,3	0,24
6. F5	0,80	1,0	0,80
7. Yttervägg Söder YTONG	0,09	42,8	3,81
8. FD1	1,10	1,8	1,98
9. F2	0,80	3,7	2,96
10. F1	0,80	2,5	2,00
11. Yttervägg väst YTONG	0,09	37,9	3,37
12. FD1	1,10	1,8	1,98
13. F3	0,80	2,8	2,24
14. Yttervägg öst YTONG	0,09	37,1	3,30
15. YD1	0,90	2,0	1,80
16. F8	0,80	0,3	0,24
17. F9	0,80	1,7	1,36
18. F3	0,80	1,4	1,12
19. Tak. norr	0,10	65,9	6,66
20. TF	0,80	1,3	1,04
21. Tak, söder	0,10	64,6	6,52
22. TF	0,80	2,6	2,08
Aom & Summa U*A		416,00	57,46

Köldbrygga	Ψ (W/m, °C)	L (m)	Ψ*L
Platta på mark - Dubbla L-element	0,04	2,00	0,08
Längd köldbrygga & Summa Ψ*L		2,00	0,08

ISOVER Energi 3
Objekt: Ytonghuset 20140507

LTH Installationsteknik

Sida 1 (7)

Använda konstruktioner

Typ 1.

Platta på mark

Värmeövergångsmotstånd inne Rsi: 0,00 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute Rse: 0,00 m², °C/W

U-värde: 0,090 W/m², °C

Typ 2.

Tak

	(mm)	(W/m, °C)	(%)	(W/m, °C)
Puts	12	1		
Ytong Takblock	150	0,14		
Ytong Multipor	390	0,045		
takpapp	1			

Värmeövergångsmotstånd inne Rsi: 0,10 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute Rse: 0,04 m², °C/W

U-värde: 0,101 W/m², °C

Typ 3.

Yttervägg

	(mm)	(W/m, °C)	(%)	(W/m, °C)
Puts	12	1		
Ytong Multipor	50	0,045		
Ytong Multipor	160	0,045		
Ytong Lättbetong	175	0,09		
Ytong Multipor	200	0,045		
Puts	12	1		

Värmeövergångsmotstånd inne Rsi: 0,13 m², °C/W

Värmeövergångsmotstånd ute Rse: 0,04 m², °C/W

U-värde: 0,089 W/m², °C



Använda fönstertyper

Typ 4.

F1

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 5.

F2

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 6.

F3

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 7.

F4

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 8.

F5

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 9.

F6

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 10.

F7

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 11.

F8

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 12.

F9

U-värde: 0,800 W/m²,K

Typ 13.

TF

U-värde: 0,800 W/m²,K

ISOVER Energi 3
Objekt: Ytonghuset 20140507

LTH Installationsteknik

Sida 3 (7)



Använda dörrtyper

Typ 14.

FD1

U-värde: 1,100 W/m²,K

Typ 15.

YD1

U-värde: 0,900 W/m²,K

Byggnadsytor - Bostad

Yta 1.

Grund

Konstruktion: Platta på mark

Orientering: 0°

Nettoarea: 95,0 m²

Yta 2.

yttervägg norr YTONG

Konstruktion: Yttervägg

Orientering: 0°

Nettoarea: 48,1 m²

Yta 3.

F4

Konstruktion: F4

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,9 m²

Yta 4.

F6

Konstruktion: F6

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,5 m²



Yta 5.

F7

Konstruktion: F7

Orientering: 0°

Nettoarea: 0,3 m²

Yta 6.

F5

Konstruktion: F5

Orientering: 0°

Nettoarea: 1,0 m²

Yta 7.

Yttervägg Söder YTONG

Konstruktion: Yttervägg

Orientering: 180°

Nettoarea: 42,8 m²

Yta 8.

FD1

Konstruktion: FD1

Orientering: 180°

Nettoarea: 1,8 m²

Yta 9.

F2

Konstruktion: F2

Orientering: 180°

Nettoarea: 3,7 m²

Yta 10.

F1

Konstruktion: F1

Orientering: 180°

Nettoarea: 2,5 m²



Yta 11.

Yttervägg väst YTONG

Konstruktion: Yttervägg

Orientering: 270°

Nettoarea: 37,9 m²

Yta 12.

FD1

Konstruktion: FD1

Orientering: 270°

Nettoarea: 1,8 m²

Yta 13.

F3

Konstruktion: F3

Orientering: 270°

Nettoarea: 2,8 m²

Yta 14.

Yttervägg öst YTONG

Konstruktion: Yttervägg

Orientering: 90°

Nettoarea: 37,1 m²

Yta 15.

YD1

Konstruktion: YD1

Orientering: 90°

Nettoarea: 2,0 m²

Yta 16.

F8

Konstruktion: F8

Orientering: 90°

Nettoarea: 0,3 m²



Yta 17.

F9

Konstruktion: F9
Orientering: 90°
Nettoarea: 1,7 m²

Yta 18.

F3

Konstruktion: F3
Orientering: 90°
Nettoarea: 1,4 m²

Yta 19.

Tak, norr

Konstruktion: Tak
Orientering: 0°
Nettoarea: 65,9 m²

Yta 20.

TF

Konstruktion: TF
Orientering: 0°
Nettoarea: 1,3 m²

Yta 21.

Tak, söder

Konstruktion: Tak
Orientering: 180°
Nettoarea: 64,6 m²

Yta 22.

TF

Konstruktion: TF
Orientering: 180°
Nettoarea: 2,6 m²

12.3 Bilaga 3 - Beräkningar av tillverkningsenergi

Konventionella huset

Grunden (utifrån-in)

Fiberduk/geotextilduk

Fiberduken innehåller polypropen vilket liknar polyeten i strukturen (råvara för ångspärren). Det saknas uppgifter om tillverkningsenergi för geotextilduken, dock finns det uppgifter om ångspärren som har en tillverkningsenergi på 0,5-1,0 kWh/kg. Detta är en förhållandevis låg siffra jämfört med resterande materials tillverkningsenergi eftersom att en så pass liten volymandel används ($V < 0,001 \text{ m}^3$). Beslut tas att geotextilduken kan försummas utan att göra jämförelsen mindre intressant, då den är med som komponent i alla fyra husen och förhållandet blir likvärdigt.

Makadam/ dränerande skikt

$d = 150 \text{ mm}$

$\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$ (Weywadt 2014)

$E = 4 \text{ kWh/1000 kg} = 0,004 \text{ kWh/kg}$ (Weywadt 2014)

$V = 0,15 \cdot 1 \cdot 1 = 0,15 \text{ m}^3$

$m = 1500 \cdot 0,15 = 225 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 0,004 \cdot 225 = 0,9 \text{ kWh}$

Cellplast (Styrolit)

$d = 200 \text{ mm}$

$\rho = 17 \text{ kg/m}^3$ (Isover 2014)

$E = 3,83 \text{ MJ/kg} = 1,0724 \text{ kWh/kg}$ (Bewi 2011)

$V = 1 \cdot 1 \cdot 0,200 = 0,200 \text{ m}^3$

$m = 17 \cdot 0,200 = 3,4 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 1,0724 \cdot 3,4 = 3,65 \text{ kWh}$

Armering

$\emptyset = 12 \text{ mm}$

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ (Burström 2007)

$E = 2716 \text{ MJ/ton} = 760,48 \text{ kWh/ton} = 0,7605 \text{ kWh/kg}$ (Celsa Steel Service AB, 2011)

$V = \pi r^2 = \pi \cdot 0,006^2 = 1,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$m = 7850 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} = 0,888 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 0,7605 \cdot 0,888 = 0,68 \text{ kWh}$

Betong

$d = 100 \text{ mm}$

$E = 6-10 \text{ kWh/m}^3 + 4 \text{ kWh under vintern (4 månader)}$ (Sydsten 2007)

$$E_{\text{årsmedel}} = \frac{8 \cdot 8 + (8+4) \cdot 4}{12} = 9,33 \text{ kWh/m}^3$$

$$V = 1 \cdot 1 \cdot 0,100 = 0,100 \text{ m}^3$$

$$\text{Tillverkningsenergi för } 1 \text{ m}^2: E_{\text{tillv.}} = 9,33 \cdot 0,1 = 0,93 \text{ kWh}$$

Cementtillverkning

Tillverkningen av råvaran cement måste tas hänsyn till då denna bidrar till den största energiförbrukningen vid betongtillverkning.

$$E_{\text{cement}} = 3500 \text{ MJ} = 3500 \cdot 0,28 = 980 \text{ kWh för } 1000 \text{ kg cement (Hökfors 2014)}$$

$$\frac{980}{1000} = 0,98 \text{ kWh/kg cement}$$

1 m³ betong innehåller 350 kg cement (Weywadt 2014)

$$E = 0,98 \cdot 350 = 343 \text{ kWh/m}^3 \text{ betong}$$

$$E = E \cdot V = 343 \cdot 0,100 = 34,3 \text{ kWh}$$

Tillverkningsenergi för betongen inkl. cementtillverkning:

$$E_{\text{tillv.}} = 0,93 + 34,3 = 35,23 \text{ kWh}$$

Total tillverkningsenergi för 1 m² grund

Fiberduk:	0
Makadam:	0,9
Cellplast (Styrolit):	3,65
Armering:	0,68
Betong:	35,23
$\Sigma =$	40,46 kWh/m ²

Ytterväggen (utifrån in)

Tegel

$$\rho = 1580 \text{ kg/m}^3 \text{ (Mörnhed 2014)}$$

$$E = 0,504 \text{ kWh/kg (Tegelmäster 2013)}$$

$$\text{Mått: } 228 \cdot 108 \cdot 54, \text{ Fog: } 12 \text{ mm (Tegelmäster 2104)}$$

$$\text{Vikt: } 2,10 \text{ kg/sten (Mörnhed 2014)}$$

$$L_{\text{med fog}} = 228 + 12 = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Höjd}_{\text{med fog}} = 54 + 12 = 66 \text{ mm}$$

Antal stenar på 1 m²:

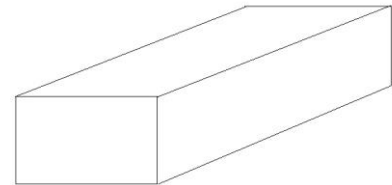
$$\frac{1000}{240} = 4,167 \text{ st (längd)}$$

$$\frac{1000}{66} = 15,152 \text{ st (höjd)}$$

$$\text{Totalt antal per m}^2: 4,167 \cdot 15,152 = 63,1313 \text{ st}$$

$$\text{Vikt för } 1 \text{ m}^2: 2,10 \cdot 63,1313 = 132,576 \text{ kg}$$

$$\text{Tillverkningsenergi för } 1 \text{ m}^2: E_{\text{tillv.}} = 132,576 \cdot 0,504 = 66,82 \text{ kWh}$$



Murbruk

Volym tegelsten: 108x228x54 mm

Höjd murbruk: 12 mm

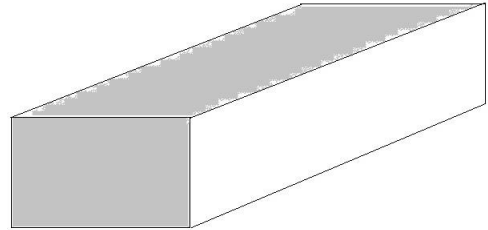
Volym murbruk (räknar på två sidor av stenen)

$$0,012 \cdot 0,054 \cdot 0,180 = 2,955 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

+

$$0,012 \cdot 0,228 \cdot 0,108 = 6,999 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$= 3,655 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ bruk/sten} = (3,655 \cdot 10^{-4}) \cdot 10^3 = 0,3655 \text{ dm}^3$$



63,13 stenar/m² -> 63,13 · 0,3655 = 23,07 dm³ bruk för en m² tegelvägg (se rubrik Tegel i detta dokument)

Murbruket levereras i säckar á 25 kg torrt bruk som späs med 4 liter vatten vilket ger 16 liter färdigt murbruk. För att skapa 23,07 liter färdigt bruk krävs således 35,94 torrt bruk. (Weber 2013b)

$$(25/16) \cdot 23 = 35,94 \text{ kg}$$

Murbruket består av 5-15 % cement och då cementtillverkning är kostsam (energimässigt) i tillverkningen räknas detta separat och läggs till den slutgiltiga summan. I denna beräkning har ett medelvärde för andelen cement i bruket använts, dvs 10 %. (Weber 2012)

$$35,94 \cdot 0,1 = 3,594 \text{ kg cement}$$

$$35,94 - 3,594 = 32,34 \text{ kg bruk (exklusive cement)}$$

Tillverkningsenergi bruk: 1,5 MJ/kg = 0,42 kWh/kg (Weber 2012)

Tillverkningsenergi för bruk (exklusive cement): 32,34 · 0,42 = 13,58 kWh

Tillverkningsenergi cement: 3,594 · 0,98 = 3,52 kWh (se rubrik Betong i detta dokument för)

Totalt för bruk inkl. cement: 13,58 + 3,52 = 17,10 kWh

Mineralull, skalmursskiva 33

d=80 mm

$\rho = 28 \text{ kg/m}^3$ (Lindholm 2014)

E=4,9 kWh/kg (Isover 2013b)

$$V=1 \cdot 1 \cdot 0,080 = 0,080 \text{ m}^3$$

$$m = 28 \cdot 0,080 = 2,24 \text{ kg}$$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 4,9 \cdot 2,24 = 10,98 \text{ kWh}$

Mineralull, Isover UNI-skiva 33

d=120 mm

$\rho = 24 \text{ kg/m}^3$ (Lindholm 2014)

$E=4,9 \text{ kWh/kg}$ (Isover 2013e)

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,120 = 0,120 \text{ m}^3$

$m = 24 \cdot 0,120 = 2,88 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 4,9 \cdot 2,88 = 14,11 \text{ kWh}$

Träregel Vertikal

$d=120 \text{ mm}$

$E=3898 \text{ MJ/m}^3=1091,44 \text{ kWh/m}^3$ (Svenskt 2007)

$V=1 \cdot 0,120 \cdot 0,0450 = 0,0054 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,0054 = 5,89 \text{ kWh}$

Plastfolie, tätskikt

$E=0,5-1,0 \text{ kWh/kg}$ (Rani 2010)

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,001 = 0,001 \text{ m}^3$

På grund av plastfoliens låga värden blir tillverkningsenergin försumbar i denna situation.

Gips

$d=13 \text{ mm}$

$E=6,79 \text{ kWh/m}^2$ (Gyproc 2012b)

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 6,79 \cdot 1 \cdot 1 = 6,79 \text{ kWh}$

Total tillverkningsenergi för 1 m² yttervägg

Tegel:	66,82
Murbruk:	17,10
Mineralull, skalmursskiva:	10,98
Mineralull, Isover UNI-skiva 33:	14,11
Träregel Vertikal:	5,89
Plastfolie	0
Gips:	6,79
$\Sigma =$	121,69 kWh/m ²

Tak (utifrån in)

Takpapp

$E<0,9 \text{ kWh/m}^2$ (Isola 2007a)

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9 \text{ kWh}$

Underlagspapp

$E<0,9 \text{ kWh/m}^2$ (Isola 2007b)

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9 \text{ kWh}$

Takboard 33

d= 20 mm

$\rho = 120 - 125 \text{ kg/m}^3$ (Isover 2014)

E=4,9 kWh/kg (Isover 2013c)

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,020 = 0,020 \text{ m}^3$

$m = 122,5 \cdot 0,020 = 2,45 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 4,9 \cdot 2,45 = 12,01 \text{ kWh}$

Råspont

d=22

E=3898 MJ/m³=1091,44 kWh/m³ (Svenskt 2007)

$V=0,022 \cdot 0,095 \cdot 1 = 0,00209 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,00209 = 2,28 \text{ kWh}$

Takstolsskiva P37

d= 220 mm

$\rho = 17,5 \text{ kg/m}^3$ (Isover 2014)

E=4,9 kWh/kg (Isola 2007b)

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,220 = 0,220 \text{ m}^3$

$m = 17,5 \cdot 0,220 = 3,85 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 4,9 \cdot 3,85 = 18,87 \text{ kWh}$

Takstolar

d=245 mm

E=3898 MJ/m³=1091,44 kWh/m³ (Svenskt 2007)

$V=1 \cdot 0,245 \cdot 0,0450 = 0,011 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,011 = 12,03 \text{ kWh}$

Plastfolie, tätskikt

E=0,5-1,0 kWh/kg (Rani 2010)

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,001 = 0,001 \text{ m}^3$

På grund av plastfoliens låga värden blir tillverkningsenergin försumbar i denna situation.

Takstolsskiva P 37

d=120 mm

$\rho = 16 - 19 \text{ kg/m}^3$ (Isover 2014)

E=4,9 kWh/kg (Isover 2013d)

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,120 = 0,120 \text{ m}^3$

$m = 17,5 \cdot 0,120 = 2,1 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 4,9 \cdot 2,1 = 10,29 \text{ kWh}$

Träreglar, horisontella

d=120 mm

$E=3898 \text{ MJ/m}^3=1091,44 \text{ kWh/m}^3$ (Svenskt 2007)

$V=1 \cdot 0,120 \cdot 0,0450 = 0,0054 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,0054 = 5,89 \text{ kWh}$

Gips

Mått: 13 mm

$E=6,79 \text{ kWh/m}^2$ (Gyproc 2012b)

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 6,79 \cdot 1 \cdot 1 = 6,79 \text{ kWh}$

Total tillverkningsenergi för 1 m^2 tak

Takpapp:	0,9
Underlagspapp:	0,9
Takboard:	12,01
Råspont:	2,28
Takstolsskiva, P 37:	18,87
Takstolar:	12,03
Plastfolie:	0
Takstolsskiva, P 37:	10,29
Träreglar:	5,89
Gips:	6,79
$\Sigma =$	69,96 kWh/m ²

Emrahuset

Grunden (utifrån-in)

Fiberduk/geotextilduk

Se Grund för Konventionella huset.

Makadam/ dränerande skikt

$d=150 \text{ mm}$

$\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$ (Weywadt 2014)

$E=4 \text{ kWh/1000 kg} = 0,004 \text{ kWh/kg}$ (Weywadt 2014)

$V=0,15 \cdot 1 \cdot 1 = 0,15 \text{ m}^3$

$m=1500 \cdot 0,15 = 225 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 0,004 \cdot 225 = 0,9 \text{ kWh}$

EPS-cellplast (S200)

$d=400 (4 \cdot 100) \text{ mm}$

$\rho = 29 \text{ kg/m}^3$ (Cederqvist 2014)

$E=3,8 \text{ MJ/kg}=1,064 \text{ kWh/kg}$ (Byggolit 2013, Sjunnesson 2014)

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,400 = 0,400 \text{ m}^3$

$m = 29 \cdot 0,400 = 11,6 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 1,064 \cdot 11,6 = 12,34 \text{ kWh}$

Armering

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3 \text{ (Burström 2007)}$$

$$E = 2716 \text{ MJ/ton} = 760,48 \text{ kWh/ton} = 0,7605 \text{ kWh/kg (Celsa Steel Service AB, 2011)}$$

$$V = \pi r^2 = \pi \cdot 0,006^2 = 1,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = 7850 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} = 0,888 \text{ kg}$$

$$\text{Tillverkningsenergi för } 1 \text{ m}^2: E_{tillv.} = 0,7605 \cdot 0,888 = 0,68 \text{ kWh}$$

Betong

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$E = 6\text{--}10 \text{ kWh/m}^3 + 4 \text{ kWh under vintern (4 månader) (Sydsten 2007)}$$

$$E_{\text{årsmedel}} = \frac{8 \cdot 8 + (8+4) \cdot 4}{12} = 9,33 \text{ kWh/m}^3$$

$$V = 1 \cdot 1 \cdot 0,100 = 0,100 \text{ m}^3$$

$$\text{Tillverkningsenergi för } 1 \text{ m}^2: E_{tillv.} = 9,33 \cdot 0,1 = 0,93 \text{ kWh}$$

Cementtillverkning

Tillverkningen av råvaran cement måste tas hänsyn till då denna bidrar till den största energiförbrukningen vid betongtillverkning.

$$E_{\text{cement}} = 3500 \text{ MJ} = 3500 \cdot 0,28 = 980 \text{ kWh för } 1000 \text{ kg cement (Hökfors 2014)}$$

$$\frac{980}{1000} = 0,98 \text{ kWh/kg cement}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ betong innehåller } 350 \text{ kg cement (Weywadt 2014)}$$

$$E = 0,98 \cdot 350 = 343 \text{ kWh/m}^3 \text{ betong}$$

$$E = E \cdot V = 343 \cdot 0,100 = 34,3 \text{ kWh}$$

Tillverkningsenergi för betongen inkl. cementtillverkning:

$$E_{tillv.} = 0,93 + 34,3 = 35,23 \text{ kWh}$$

Total tillverkningsenergi för 1 m² grund

$$\text{Fiberduk: } 0$$

$$\text{Makadam: } 0,9$$

$$\text{EPS-cellplast: } 12,34$$

$$\text{Armering: } 0,68$$

$$\text{Betong: } 35,23$$

$$\Sigma = 49,15 \text{ kWh/m}^2$$

Ytterväggen (utifrån in)

Fasadputs

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$E = 1200 \text{ MJ/ton} = 0,336 \text{ kWh/kg (Weber 2010)}$$

$$\text{Materialåtgång: } 10 \text{ kg/5 mm/m}^2 \text{ (Weber 2013a)}$$

$$0,336 \cdot 10 = 3,36 \text{ kWh/10 kg}$$

$$12\text{mm}=2,4 \text{ lager puts}$$

$$3,36 \cdot 2,4 = 8,064 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 8,064 \cdot 1 \cdot 1 = 8,06 \text{ kWh}$$

EPS-cellplast (S200)

$$\rho = 28 - 30 \text{ kg/m}^3 \quad \rho_{medel} = 29 \text{ kg/m}^3 \text{ (Cederqvist 2014)}$$

$$E=3,8 \text{ MJ/kg} = 1,064 \text{ kWh/kg (Byggolit 2013, Sjunnesson 2014)}$$

$$V_{EPS}=1 \cdot 1 \cdot 0,500 = 0,500 \text{ m}^3$$

$$V_{betong \text{ pelare}}=1 \cdot 0,100 \cdot 0,120 = 0,012 \text{ m}^3$$

$$V_{EPS} - V_{betong \text{ pelare}} = V_{tot} = 0,5 - 0,012 = 0,488 \text{ m}^3$$

$$m = 29 \cdot 0,488 = 14,152 \text{ kg}$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 14,152 \cdot 1,064 = 15,06 \text{ kWh}$$

Betongpelare

Betong

$$E_{betong}=6-10 \text{ kWh/m}^3 + 4 \text{ kWh under vintern (4 månader) (Sydsten 2007)}$$

$$E_{årsmedel} = 8 \cdot 8 + (8 + 4) \cdot 4 = 9,33 \text{ kWh/m}^3$$

$$V_{betong}=1 \cdot 0,120 \cdot 0,100 = 0,0120 \text{ m}^3$$

$$\text{Tillverkningsenergi för betong för 1 st pelare: } E_{tillv.} = 9,33 \cdot 0,0120 = 0,112 \text{ kWh}$$

Cementtillverkning

Tillverkningen av råvaran cement måste tas hänsyn till då denna bidrar till den största energiförbrukningen vid betongtillverkning.

$$E_{cement} = 3500 \text{ MJ} = 3500 \cdot 0,28 = 980 \text{ kWh för 1000 kg cement (Hökfors 2014)}$$

$$\frac{980}{1000} = 0,98 \text{ kWh för 1 kg cement}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ betong innehåller 350 kg cement (Weywadt 2014)}$$

$$E = 0,98 \cdot 350 = 343 \text{ kWh för 1 m}^3 \text{ betong}$$

$$E_{pelare}=E \cdot V = 343 \cdot 0,012 = 4,116 \text{ kWh för 1m pelare}$$

Tillverkningsenergi för 1st pelare med cementtillverkning:

$$E_{tillv.} = 0,112 + 4,116 = 4,23 \text{ kWh}$$

Plåtprofil

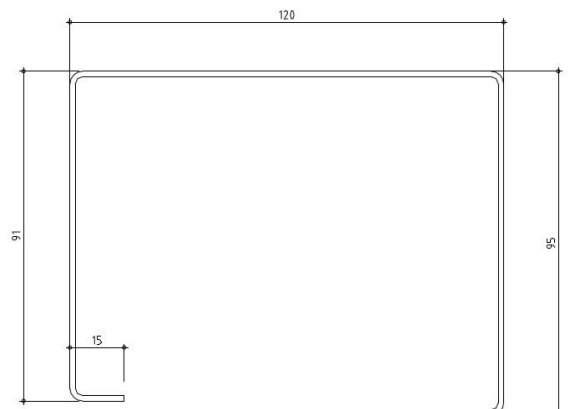
$$\text{Dimensioner: } 120 \cdot 95 \cdot 15 \text{ mm}$$

$$m=48 \text{ kg/100 m (Lindab 2014)}$$

$$E=0,2 \text{ kWh/kg (Lindab 2013)}$$

$$1\text{m}=0,48 \text{ kg}$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2:$$



$$E_{tillv.} = 0,2 \cdot 0,48 = 0,096 \text{ kWh}$$

Plastfolie, tätskikt

$E=0,5\text{-}1,0 \text{ kWh/kg}$ (Rani 2010)

$$V=1 \cdot 1 \cdot 0,001 = 0,001 \text{ m}^3$$

På grund av plastfoliens låga värden blir tillverkningsenergin försumbar i denna situation.

Magnesiumoxidskiva

$d=12 \text{ mm}$

$E=0,0122 \text{ kWh/m}^2$ (Ekstrand 2014)

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 0,0122 \text{ kWh}$

Total tillverkningsenergi för 1 m^2 yttervägg

Fasadputs:	8,06
EPS-cellplast:	15,06
Betongpelare:	4,23
Plåtprofil:	0,096
Plastfolie	0
Magnesiumoxidskiva:	0,0122
$\Sigma =$	27,458 kWh/m ²

Tak (utifrån in)

Takpapp

$E<0,9 \text{ kWh/m}^2$ (Isola 2007a)

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9 \text{ kWh}$

Underlagspapp

$E<0,9 \text{ kWh/m}^2$ (Isola 2007b)

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9 \text{ kWh}$

Råspont

$d=22 \text{ mm}$

$E=3898 \text{ MJ/m}^3=1091,44 \text{ kWh/m}^3$ (Svenskt 2007)

$$V=0,022 \cdot 0,095 \cdot 1 = 0,00209 \text{ m}^3$$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,00209 = 2,28 \text{ kWh}$

Lösull

$d= 500 \text{ mm}$

$\rho = 22,5 \text{ kg/m}^3$ (Isover 2014)

$E=4,9 \text{ kWh/kg}$ (Isover 2013a)

$$V=1 \cdot 1 \cdot 0,500 = 0,500 \text{ m}^3$$

$$m = 22,5 \cdot 0,500 = 11,25 \text{ kg}$$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 4,9 \cdot 11,25 = 55,13 \text{ kWh}$

Takstolar

d=220+220+70=510 mm

E=1091,44 kWh/m³ (Svenskt 2007)

$V = 1 \cdot 0,510 \cdot 0,0450 = 0,02295 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,02295 = 25,05 \text{ kWh}$

Plastfolie, tätskikt

E=0,5-1,0 kWh/kg (Rani 2010)

$V = 1 \cdot 1 \cdot 0,001 = 0,001 \text{ m}^3$

På grund av plastfoliens låga värden blir tillverkningsenergin försumbar i denna situation.

Glespanel

d=28 mm

c300=3 st/m²

E=1091,44 kWh/m³ (Svenskt 2007)

$V = 0,028 \cdot 0,07 \cdot 3 \cdot 1 = 0,00588 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,00588 = 6,42 \text{ kWh}$

Gips

Mått: 13 mm

E=6,79 kWh/m² (Gyproc 2012b)

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 6,79 \cdot 1 \cdot 1 = 6,79 \text{ kWh}$

Total tillverkningsenergi för 1 m² tak

Takpapp:	0,9
Underlagspapp:	0,9
Råspont:	2,28
Lösull:	55,13
Takstolar:	25,05
Plastfolie	0
Glespanel	6,42
Gips:	6,79
$\Sigma =$	97,47 kWh/m ²

Passivhuset

Grunden (utifrån-in)

Fiberduk/geotextilduk

Se Grund för Konventionella huset.

Makadam/ dränerande skikt

d=150 mm

$\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$ (Weywadt 2014)

$E=4 \text{ kWh/1000 kg} = 0,004 \text{ kWh/kg}$ (Weywadt 2014)

$V=0,15 \cdot 1 \cdot 1 = 0,15 \text{ m}^3$

$m=1500 \cdot 0,15 = 225 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 0,004 \cdot 225 = 0,9 \text{ kWh}$

EPS-cellplast (S200)

d=400 (4 · 100) mm

$\rho = 29 \text{ kg/m}^3$ (Cederqvist 2014)

$E=3,8 \text{ MJ/kg} = 1,064 \text{ kWh/kg}$ (ByggolitAB 2013, Sjunnesson 2014)

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,400 = 0,400 \text{ m}^3$

$m = 29 \cdot 0,400 = 11,6 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 1,064 \cdot 11,6 = 12,34 \text{ kWh}$

Armering

$\emptyset = 12 \text{ mm}$

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ (Burström 2007)

$E=2716 \text{ MJ/ton} = 760,48 \text{ kWh/ton} = 0,7605 \text{ kWh/kg}$ (Celsa Steel Service AB, 2011)

$V=\pi r^2 = \pi \cdot 0,006^2 = 1,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$m=7850 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} = 0,888 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 0,7605 \cdot 0,888 = 0,68 \text{ kWh}$

Betong

$d=100 \text{ mm}$

$E=6\text{-}10 \text{ kWh/m}^3 + 4 \text{ kWh under vintern (4 månader) (Sydsten 2007)}$

$$E_{\text{årsmedel}} = \frac{8 \cdot 8 + (8+4) \cdot 4}{12} = 9,33 \text{ kWh/m}^3$$

$$V=1 \cdot 1 \cdot 0,100 = 0,100 \text{ m}^3$$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{\text{tillv.}} = 9,33 \cdot 0,1 = 0,93 \text{ kWh}$

Cementtillverkning

Tillverkningen av råvaran cement måste tas hänsyn till då denna bidrar till den största energiförbrukningen vid betongtillverkning.

$E_{\text{cement}} = 3500 \text{ MJ} = 3500 \cdot 0,28 = 980 \text{ kWh}$ för 1000 kg cement (Hökfors 2014)

$$\frac{980}{1000} = 0,98 \text{ kWh/kg cement}$$

1 m^3 betong innehåller 350 kg cement (Weywadt 2014)

$$E = 0,98 \cdot 350 = 343 \text{ kWh/m}^3 \text{ betong}$$

$$E = E \cdot V = 343 \cdot 0,100 = 34,3 \text{ kWh}$$

Tillverkningsenergi för betongen inkl. cementtillverkning:

$$E_{\text{tillv.}} = 0,93 + 34,3 = 35,23 \text{ kWh}$$

Total tillverkningsenergi för 1 m^2 grund

Fiberduk:	0
Makadam:	0,9
EPS-cellplast:	12,34
Armering:	0,68
Betong:	35,23
$\Sigma =$	49,15 kWh/m ²

Ytterväggen (utifrån in)

Tegel

$\rho = 1580 \text{ kg/m}^3$ (Mörnhed 2014)

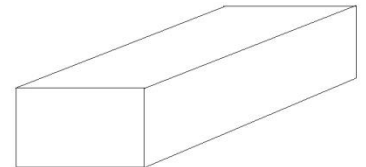
$E=0,504 \text{ kWh/kg}$ (Tegelmäster 2013)

Mått: $228 \cdot 108 \cdot 54$, Fog: 12 mm (Tegelmäster 2104)

Vikt: 2,10 kg/sten (Mörnhed 2014)

$L_{\text{med fog}} = 228 + 12 = 240 \text{ mm}$

$Höjd_{\text{med fog}} = 54 + 12 = 66 \text{ mm}$



Antal stenar på 1 m^2 :

$$\frac{1000}{240} = 4,167 \text{ st (längd)}$$

$$\frac{1000}{66} = 15,152 \text{ st (höjd)}$$

$$\text{Totalt antal per m}^2: 4,167 \cdot 15,152 = 63,1313 \text{ st}$$

Vikt för 1 m²: $2,10 \cdot 63,1313 = 132,576 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 132,576 \cdot 0,504 = 66,82 \text{ kWh}$

Murbruk

Volym tegelsten: 108x228x54 mm

Höjd murbruk: 12 mm

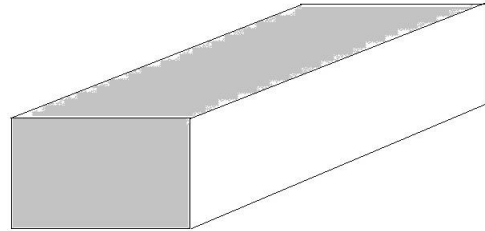
Volym murbruk (räknar på två sidor av stenen)

$$0,012 \cdot 0,054 \cdot 0,180 = 2,955 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

+

$$0,012 \cdot 0,228 \cdot 0,108 = 6,999 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$= 3,655 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ bruk/sten} = (3,655 \cdot 10^{-4}) \cdot 10^3 = 0,3655 \text{ dm}^3$$



63,13 stenar/m² -> $63,13 \cdot 0,3655 = 23,07 \text{ dm}^3 \text{ bruk}$ för en m² tegelvägg (se rubrik Tegel i detta dokument)

Murbruket levereras i säckar á 25 kg torrt bruk som späs med 4 liter vatten vilket ger 16 liter färdigt murbruk. För att skapa 23,07 liter färdigt bruk krävs således 35,94 torrt bruk. (Weber 2013b)

$$(25/16) \cdot 23 = 35,94 \text{ kg}$$

Murbruket består av 5-15% cement och då cementtillverkning är kostsam (energimässigt) i tillverkningen räknas detta separat och läggs till den slutgiltiga summan. I denna beräkning har ett medelvärde för andelen cement i bruket använts, det vill säga 10%. (Weber 2012)

$$35,94 \cdot 0,1 = 3,594 \text{ kg cement}$$

$$35,94 - 3,594 = 32,34 \text{ kg bruk (exklusive cement)}$$

Tillverkningsenergi bruk: $1,5 \text{ MJ/kg} = 0,42 \text{ kWh/kg}$ (Weber 2012)

Tillverkningsenergi för bruk (exklusive cement): $32,34 \cdot 0,42 = 13,58 \text{ kWh}$

Tillverkningsenergi cement: $3,594 \cdot 0,98 = 3,52 \text{ kWh}$ (se rubrik Betong i detta dokument för)

Totalt för bruk inkl. cement: $13,58 + 3,52 = 17,10 \text{ kWh}$

Mineralull, skalmursskiva 33

d=80 mm

$\rho = 28 \text{ kg/m}^3$ (Lindholm 2014)

$E=4,9 \text{ kWh/kg}$ (Isover 2013b)

$$V=1 \cdot 1 \cdot 0,080 = 0,080 \text{ m}^3$$

$$m = 28 \cdot 0,080 = 2,24 \text{ kg}$$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 4,9 \cdot 2,24 = 10,98 \text{ kWh}$

Mineralull, Isover UNI-skiva 33

d=240 + 140=380 mm (se bild XX, CAD bild på väggen)

$$\rho = 24 \text{ kg/m}^3 \text{ (Lindholm 2014)}$$

$$E=4,9 \text{ kWh/kg (Isover 2013e)}$$

$$V=1 \cdot 1 \cdot 0,380 = 0,380 \text{ m}^3$$

$$m = 24 \cdot 0,380 = 9,12 \text{ kg}$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 4,9 \cdot 9,12 = 44,69 \text{ kWh}$$

Träregel Vertikal

$$d=240 \text{ mm}$$

$$E=1091,44 \text{ kWh/m}^3 \text{ (Svenskt 2007)}$$

$$V=1 \cdot 0,24 \cdot 0,0950 = 0,0228 \text{ m}^3$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,0228 = 24,88 \text{ kWh}$$

Träregel Horisontell

$$d=140 \text{ mm}$$

$$E=1091,44 \text{ kWh/m}^3 \text{ (Svenskt 2007)}$$

$$V=1 \cdot 0,140 \cdot 0,0450 = 0,0063 \text{ m}^3$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,0063 = 6,88 \text{ kWh}$$

Plastfolie, tätskikt

$$E=0,5\text{-}1,0 \text{ kWh/kg (Rani 2010)}$$

$$V=1 \cdot 1 \cdot 0,001 = 0,001 \text{ m}^3$$

På grund av plastfoliens låga värden blir tillverkningsenergin försumbar i denna situation.

Gips

$$d=13 \text{ mm}$$

$$E=6,79 \text{ kWh/m}^2 \text{ (Gyproc 2012b)}$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 6,79 \cdot 1 \cdot 1 = 6,79 \text{ kWh}$$

Total tillverkningsenergi för 1 m² yttervägg

Tegel:	66,82
Murbruk:	17,10
Mineralull, skalmursskiva:	10,98
Mineralull, Isover UNI-skiva 33:	44,69
Träregel Vertikal:	24,88
Träregel Horisontell	6,88
Plastfolie	0
Gips:	6,79
$\Sigma =$	178,14 kWh/m ²

Tak (utifrån in)

Takpapp

$E < 0,9 \text{ kWh/m}^2$ (Isola 2007a)

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9 \text{ kWh}$

Underlagspapp

$E < 0,9 \text{ kWh/m}^2$ (Isola 2007b)

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9 \text{ kWh}$

Råspont

$d = 22 \text{ mm}$

$E = 3898 \text{ MJ/m}^3 = 1091,44 \text{ kWh/m}^3$ (Svenskt 2007)

$V = 0,022 \cdot 0,095 \cdot 1 = 0,00209 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,00209 = 2,28 \text{ kWh}$

Lösull

$d = 500 \text{ mm}$

$\rho = 22,5 \text{ kg/m}^3$ (Isover 2014)

$E = 4,9 \text{ kWh/kg}$ (Isover 2013a)

$V = 1 \cdot 1 \cdot 0,500 = 0,500 \text{ m}^3$

$m = 22,5 \cdot 0,500 = 11,25 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 4,9 \cdot 11,25 = 55,13 \text{ kWh}$

Takstolar

$d = 220 + 220 + 70 = 510 \text{ mm}$

$E = 1091,44 \text{ kWh/m}^3$ (Svenskt 2007)

$V = 1 \cdot 0,510 \cdot 0,0450 = 0,02295 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,02295 = 25,05 \text{ kWh}$

Plastfolie, tätskikt

$E = 0,5\text{-}1,0 \text{ kWh/kg}$ (Rani 2010)

$V = 1 \cdot 1 \cdot 0,001 = 0,001 \text{ m}^3$

På grund av plastfoliens låga värden blir tillverkningsenergin försumbar i denna situation.

Glespanel

$d = 28 \text{ mm}$

$c300 = 3 \text{ st/m}^2$

$E = 1091,44 \text{ kWh/m}^3$ (Svenskt 2007)

$V = 0,028 \cdot 0,07 \cdot 3 \cdot 1 = 0,00588 \text{ m}^3$

Tillverkningsenergi för 1 m^2 : $E_{tillv.} = 1091,44 \cdot 0,00588 = 6,42 \text{ kWh}$

Gips

Mått: 13 mm

$E=6,79 \text{ kWh/m}^2$ (Gyproc 2012b)

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 6,79 \cdot 1 \cdot 1 = 6,79 \text{ kWh}$

Total tillverkningsenergi för 1 m² tak

Takpapp:	0,9
Underlagspapp:	0,9
Råspont:	2,28
Lösull:	55,13
Takstolar:	25,05
Plastfolie	0
Glespanel	6,42
Gips:	6,79
$\Sigma =$	97,47 kWh/m ²

Ytonghuset

Grunden (utifrån-in)

Fiberduk/geotextilduk

Se Grund för Konventionella huset.

Makadam/ dränerande skikt

d=150 mm

$\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$ (Weywadt 2014)

$E=4 \text{ kWh/1000 kg} = 0,004 \text{ kWh/kg}$ (Weywadt 2014)

$V=0,15 \cdot 1 \cdot 1 = 0,15 \text{ m}^3$

$m=1500 \cdot 0,15 = 225 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 0,004 \cdot 225 = 0,9 \text{ kWh}$

EPS-cellplast (S200)

d=400 (4 · 100) mm

$\rho = 29 \text{ kg/m}^3$

$E=3,8 \text{ MJ/kg}=1,064 \text{ kWh/kg}$

$V=1 \cdot 1 \cdot 0,400 = 0,400 \text{ m}^3$

$m = 29 \cdot 0,400 = 11,6 \text{ kg}$

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 1,064 \cdot 11,6 = 12,34 \text{ kWh}$

Armering

$\emptyset = 12 \text{ mm}$

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ (Burström, 2007)

$E=2716 \text{ MJ/ton}=760,48 \text{ kWh/ton} = 0,7605 \text{ kWh/kg}$ (Celsa Steel Service AB, 2011)

$$V = \pi r^2 = \pi \cdot 0,006^2 = 1,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = 7850 \cdot 1,131 \cdot 10^{-4} = 0,888 \text{ kg}$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 0,7605 \cdot 0,888 = 0,68 \text{ kWh}$$

Betong

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$E = 6-10 \text{ kWh/m}^3 + 4 \text{ kWh under vintern (4 månader) (Sydsten 2007)}$$

$$E_{\text{årsmedel}} = \frac{8 \cdot 8 + (8+4) \cdot 4}{12} = 9,33 \text{ kWh/m}^3$$

$$V = 1 \cdot 1 \cdot 0,100 = 0,100 \text{ m}^3$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 9,33 \cdot 0,1 = 0,93 \text{ kWh}$$

Cementtillverkning

Tillverkningen av råvaran cement måste tas hänsyn till då denna bidrar till den största energiförbrukningen vid betongtillverkning.

$$E_{\text{cement}} = 3500 \text{ MJ} = 3500 \cdot 0,28 = 980 \text{ kWh för 1000 kg cement (Hökfors 2014)}$$

$$\frac{980}{1000} = 0,98 \text{ kWh/kg cement}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ betong innehåller 350 kg cement (Weywadt 2014)}$$

$$E = 0,98 \cdot 350 = 343 \text{ kWh/m}^3 \text{ betong}$$

$$E = E \cdot V = 343 \cdot 0,100 = 34,3 \text{ kWh}$$

Tillverkningsenergi för betongen inkl. cementtillverkning:

$$E_{tillv.} = 0,93 + 34,3 = 35,23 \text{ kWh}$$

Total tillverkningsenergi för 1 m² grund

$$\text{Fiberduk: } 0$$

$$\text{Makadam: } 0,9$$

$$\text{EPS-cellplast: } 12,34$$

$$\text{Armering: } 0,68$$

$$\text{Betong: } 35,23$$

$$\Sigma = 49,15 \text{ kWh/m}^2$$

Ytterväggen (utifrån in)

Fasadputs

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$E = 1200 \text{ MJ/ton} = 0,336 \text{ kWh/kg (Weber 2010)}$$

$$\text{Materialåtgång: } 10 \text{ kg/5 mm/m}^2 \text{ (Weber 2013a)}$$

$$0,336 \cdot 10 = 3,36 \text{ kWh/10 kg}$$

$$12 \text{ mm} = 2,4 \text{ lager puts}$$

$$3,36 \cdot 2,4 = 8,064 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Tillverkningsenergi för 1 m}^2: E_{tillv.} = 8,064 \cdot 1 \cdot 1 = 8,06 \text{ kWh}$$

Multipor (isolering)

d=200 mm

E=887,7+34,03=921,73 MJ=258,08 kWh/m³ (Xella 2009b)

V=1 · 1 · 0,200 = 0,200 m³

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 258,08 \cdot 0,2 = 51,62$ kWh

Ytong lättbetong

d=175 mm

E=1427+74=1501 MJ=420,28 kWh/m³ (Xella 2009a)

V= 1 · 1 · 0,175 = 0,175 m³

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 420,28 \cdot 0,175 = 73,55$ kWh

Multipor (isolering)

d=50+160=210 mm

E=887,7+34,03=921,73 MJ=258,08 kWh/m³ (Xella 2009b)

V=1 · 1 · 0,210 = 0,210 m³

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 258,08 \cdot 0,210 = 54,20$ kWh

Fasadputs

d = 12 mm

E = 1200 MJ/ton=0,336 kWh/kg (Weber 2010)

Materialåtgång: 10 kg/5 mm/m² (Weber 2013a)

0,336 · 10 = 3,36 kWh/10 kg

12 mm=2,4 lager puts

3,36 · 2,4 = 8,064 kWh/m²

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 8,064 \cdot 1 \cdot 1 = 8,06$ kWh

Total tillverkningsenergi för 1 m² yttervägg

Puts: 8,06

Multipor: 51,62

Ytong lättbetong: 73,55

Multipor: 54,20

Puts: 8,06

Σ = 195,49 kWh/m²

Tak (utifrån in)**Takpapp**

E<0,9kWh/m² (Isola 2007a)

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9$ kWh

Underlagspapp

E<0,9kWh/m² (Isola 2007b)

Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9$ kWh

Multipor (isolering)

d=390 mm

E=887,7+34,03=921,73MJ=258,08 kWh/m³ (Xella 2009b)V=1 · 1 · 0,390 = 0,390 m³Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 258,08 \cdot 0,390 = 100,65$ kWh**Ytong takblock (lättbetong)**

d=200 mm

E=1427+74=1501 MJ=420,28 kWh/m³ (Xella 2009a)V= 1 · 1 · 0,150 = 0,150 m³Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 420,28 \cdot 0,150 = 63,04$ kWh**Fasadputs**

d=12 mm

E=1200 MJ/ton=0,336 kWh/kg (Weber 2010)

Materialåtgång: 10 kg/5 mm/m² (Weber 2013a)

0,336 · 10 = 3,36 kWh/10 kg

12 mm=2,4 lager puts

3,36 · 2,4 = 8,064 kWh/m²Tillverkningsenergi för 1 m²: $E_{tillv.} = 8,064 \cdot 1 \cdot 1 = 8,06$ kWh**Total tillverkningsenergi för 1 m² tak**

Takpapp: 0,9

Underlagspapp: 0,9

Multipor: 100,65

Ytong takblock (lättbetong): 63,04

Puts: 8,06

Σ = 173,55 kWh/m²

12.4 Bilaga 4 - Typgodkännandebevis av tätningstejp



2013-10-31

TYPGODKÄNNANDEBEVIS SC1789-12

med beslut om tillverkningskontroll enligt 8 kap, 22 och 23 §§ Plan- och Bygglagen (2010:900), PBL

ETAB® 5525, Byggfolietape

Innehavare	Eurocol Tape AB, Södra Vallgatan 7, 265 22 Åstorp Tel: 042 – 66 800, Fax: 042 – 66 805, E-post: info@eurocol.se, Hemsida: www.eurocol.se, Organisations Nr. 556552-3833
Produkt	ETAB® 5525 Byggfolietejp, enkelhäftande tejp av nätförstärkt LD-polyeten, med åldringsbeständigt akrylhäftämne
Avsedd användning	Skarvning, lagning och tätning av byggfolie av polyeten, avsedd för luft- och ångspärrar
Godkännande	Produkten har verifierats mot certifieringsregel 031 Produkten har också verifierats mot nedanstående avsnitt i Boverkets Byggregler (BBR). BBR Fukt. Allmänt 6.51 första meningen Fuktsäkerhet 6.53 första meningen Lufttäthet 6.531
Tillhörande handlingar	Monteringsanvisning ETAB® 5525, daterad 2013-09-12
Kontroll	Tillverkningskontrollen skall utföras enligt kontrollanvisningar daterade 2009-12-14 och övervakas av ett oberoende kontrollorgan. Kontrollavtal: 210-02-0080, Kontrollorgan: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Vid byggherrens kontroll på byggplatsen skall genom identifiering med hjälp av märkningen tillses att rätt produkter levererats och att de används enligt föreskrifterna givna i godkännande och tillhörande handlingar. Dessutom skall kontrolleras att produkten åtföljs av en tillverkarförsäkran som intygar att tillverkning skett i enlighet med de handlingar som legat till grund för detta bevis.
Tillverkare	Importkontrollen omfattar följande importställe: Eurocol Tape AB, Åstorp

Sida 1 (2), Bevis nr SC1789-12, projektnummer 3P06963

SITAC



Ver 13.2

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP SITAC

Postadress
Box 553
SE-371 23 KARLSKRONA

Beställadress
Bastionsgatan 6
Stumholmen

Telefon/Fax
+46 (0)10-516 63 00
+46 (0)455-206 88

Org. nummer
556464-6874

E-post/Internet
info@sitac.se

www.sitac.se www.sp.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet,
om inte SP SITAC i förväg skriftligen godkänt
annat.

Märkning	Produkten/erna skall vid fabrik förses med märkning. Märkningen utgörs av etikett/text på varje levererad produkt och transportförpackning och omfattar: Märkning på transportkartong Innehavare Boverkets inregistrerade varumärke Certifieringsorgan Produktens typbeteckning Godkännandets nummer Dimension Kontrollorgan	ETAB  SP SITAC Byggfolietejp, flexibel 5525 SC1789-12 Längd och bredd på produkt SP
	Märkning på produkt Boverkets inregistrerade varumärke Certifieringsorgan Godkännandets nummer Löpande tillverkningsnummer/kod Kontrollorgan	 SP SITAC SC1789-12 nummer/kod SP
Bedömningsunderlag	Provningsrapport FX121207 samt 3F000085 från SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut	
Kommentarer	Byggfolietejpen ska förpackas på ett sådant sätt att den inte utsätts för ultraviolett strålning under eventuell utomhuslagring. Åldringsbeständigheten bedöms vara minst 50 år under förutsättning att produkten hanteras och appliceras enligt tillhörande handlingar. Detta bevis ersätter tidigare bevis med samma nummer daterat 2012-09-25 och projektnummer PX26804.	
Giltighetstid	Godkännandet gäller t.o.m. 2017-09-24 Ett typgodkännande upphör att gälla när produkten skall CE-märkas enligt Byggproduktförordningen CPR (EU) 305/2011. Den tekniska bedömningen att produkten uppfyller Boverkets regler berörs inte av detta.	



Johan Åkesson



Håkan Thiman

Sida 2 (2), Bevis nr SC1789-12, projektnummer 3P06963





Ver. 13-2

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP SITAC

Postadress
Box 553
SE-371 23 KARLSKRONA

Besöksadress
Bastionsgatan 6
Stumholmen

Telefon/Fax
+46 (0)10-516 63 00
+46 (0)455-206 88

Org. nummer
556464-6874

E-post/Internet
info@sitac.se
www.sitac.se www.sp.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte SP SITAC i förväg skriftligen godkänt annat.