

Fuktsäkerhet och energieffektivitet av IsoTimber

- Är IsoTimber en bra miljömässig lösning?

Alice Nyman
Philina Torle



Fuktsäkerhet och energieffektivitet av IsoTimber

Är IsoTimber en bra miljömässig lösning?

Alice Nyman
Philina Torle

Examensarbete

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Alice Nyman och Philina Torle

ISRN LUTVDG/TVBH—21/5112—SE(67)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Titel: Fuktssäkerhet och energieffektivitet av IsoTimber

Författare: Alice Nyman och Philina Torle

Handledare: Stephen Burke, Institutionen för bygg- och miljöteknologi,
avdelningen för byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola

Examinator: Lars-Erik Harderup, Institutionen för bygg- och miljöteknologi,
avdelningen för byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola

Sammanfattning

Bygg- och fastighetssektorn står för stora utsläpp av växthusgaser från byggnadsmaterial- och energianvändning. Byggbranschen står idag för ca en femtedel av Sveriges totala koldioxidutsläpp. Ett område med stor potential är byggnadsmaterial där IsoTimber är ett av företagen som driver utvecklingen framåt. IsoTimber är en relativt ny aktör inom byggsektorn som tillverkar prefabricerade väggar i trä.

Syftet med detta examensarbete var att undersöka och jämföra fuktsäkerheten och energieffektivitet för samma typhus, ett byggt med IsoTimber och ett uppreglat med traditionella metoder.

Det görs genom att svara på frågorna:

Hur fuktsäkert är ett hus byggt med IsoTimber jämfört med ett traditionellt trähus?

Hur energieffektivt är ett hus byggt med IsoTimber jämfört med ett traditionellt trähus?

Hur stor är skillnaden i koldioxidekvivalenter mellan ett hus byggt med IsoTimber och ett traditionellt trähus?

Arbetet genomfördes i två olika metoder, en del utgjordes av faktainsamling och den andra en fallstudie med energiberäkningar i VIP Energy. Beräkningar från VIP Energy jämfördes sedan med ett referensfall av uppreglade träväggar för att få fram ett resultat.

Resultatet av studien visar att i samtliga scenarion var primärenergitalet, U_m (U -medelvärde) och väggens U -värde högre än det för basfallet. Avgiven energi var i scenario 1 – samma väggjocklek, 2a – samma A_{temp} och 3 – uppfylla BBR krav högre än referensfallet, medan det för scenario 2b – samma yttermått på plattan var lägre.

Ur fuktsynpunkt är den främsta fördelen med IsoTimber att huset snabbt blir vädertätt. Och de största riskerna är transport och lagring på arbetsplatsen.

Sammanfattningsvis visade rapporten att IsoTimber under produktskedet för de studerade fallen genererar mer koldioxidekvivalenter än basfallet.

Nyckelord: IsoTimber, fukt, miljöpåverkan, energiberäkning, trä

Abstract

The construction and real estate sector accounts for a large part of the emission of greenhouse gases from the usage of building material and energy. The construction industry today accounts for about one-fifth of Sweden's total carbon dioxide emissions. One area with great potential is building materials where IsoTimber is one of the companies that drive the development forward. IsoTimber is a relatively new player within the construction sector. That manufactures prefabricated walls consisting only of wood.

The questions that are answered in the report are:

How durable is IsoTimber from a moisture perspective when compared to a traditional wooden house?

How energy efficient is IsoTimber to a traditional wooden house?

How big is the difference in carbon dioxide equivalent between IsoTimber and a traditional wooden house?

The purpose of this thesis was to investigate and compare durability from a moisture perspective and energy efficiency for the same house with different building materials, one built with IsoTimber and one constructed with traditional methods.

The work was carried out in two different categories, one consisted of fact-finding and the other using a Case Study with energy calculations in VIP Energy.

The results of the study showed that in all scenarios, the primary energy use, U_m and the U-value of the wall were higher than that of the base case. Energy use in scenarios 1, 2a and 3 were higher than the base case, while for scenario 2b it was lower.

In regards to humidity, the main advantage of IsoTimber is that the house quickly becomes waterproof. With the biggest moisture risks occurring during transport and storage of materials on-site.

In summary, the report showed that IsoTimber during the production stage of the studied case generates more carbon dioxide equivalents than the base case.

Keywords: IsoTimber, moisture, environmental impact, energy calculation, wood

Förord

Examensarbetet har genomförts våren 2021 inom programmet Byggt teknik med arkitektur på Lunds tekniska högskola. Arbetets omfattning är på 22,5 högskolepoäng och skrivet under institutionen för bygg- och miljöteknologi.

Intresset för IsoTimber väcktes när vi såg hur det användes i TV-programmet Grand Designs Sverige. Då det var ett okänt byggnadsmaterial för oss ville vi undersöka det närmare med utgångspunkt i det vi lärt oss under våra studier.

Vi vill tacka vår handledare på LTH, Stephen Burke som varit till stor hjälp under arbetets gång.

Helsingborg i maj 2021

Alice Nyman och Philina Torle

Ordlista

CERBOF

Centrum för Energi- och Resurseffektivt Byggnade och Förvaltning

SBUF

Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond

Cellumen

Träfibers hållighet

Köppens klimatklassificering

Indelning av klimatet i olika geografiska zoner efter klimatets variationer.

Sveby

Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader

SiS

Svenska Institutet för Standarder

Innehållsförteckning

Sammanfattning	I
Abstract	II
Förord	III
Ordlista	IV
Innehållsförteckning	V
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Tidigare studie om IsoTimber	2
1.2 Syfte och mål	2
2 Metod och genomförande	5
2.1 Avgränsningar	5
3 Teori	7
3.1 Fuktsäkerhet	7
3.1.1 Bakgrund	7
3.1.2 Kritiskt fuktillstånd	7
3.1.3 Lufttäthet	8
3.1.4 Nollkrav	9
3.2 Fukttransport i trä	10
3.2.1 Fuktupptagning	11
3.2.2 Fuktvandring i yttervägg	11
3.3 Energieffektivitet	11
3.3.1 Värmeledningsförmåga	12
3.3.2 Krav	12
3.4 IsoTimbers luftspalter	12
3.4.1 Strålning	13
3.4.2 Konvektion	13
3.4.3 Isoleringförmåga av stillastående luft	14
3.5 Sveby	14
3.5.1 Bakgrund	14
3.5.2 Värdenas ursprung	15
3.5.3 Standardiserad brukare	15
3.5.4 Brukarindata	15
3.6 Miljöpåverkan	16
3.6.1 Betong	16
3.6.2 Trä	17
3.6.3 Plast	18
4 Fallstudie	19
4.1 VIP Energy	19
4.2 Beskrivning av objektet ‘Kuben’	19
4.2.1 Förutsättningar	20
4.3 Fall 1: Typvägg	21
4.3.1 Uppbyggnad	22
4.4 Fall 2: IsoTimber	24
4.4.1 Väggdimensioner	25
4.4.2 Fall 2 – Scenario 1 samma tjocklek	25

4.4.3	Fall 2 – Scenario 2 samma U-värde	25
4.4.4	Fall 2 – Scenario 3 uppfylla BBR-krav	26
5	Resultat och analys	27
5.1	Basfallet “kuben”	27
5.2	Scenario 1 samma tjocklek.....	29
5.3	Scenario 2 samma U-värde.....	31
5.3.1	Scenario 2a, samma A_{temp}	31
5.3.2	Scenario 2b, samma yttermått på plattan	33
5.4	Scenario 3 uppfyller BBR-krav	35
5.5	Energianalys	36
5.5.1	Scenario 1.....	37
5.5.2	Scenario 2a.....	37
5.5.3	Scenario 2b.....	37
5.5.4	Scenario 3.....	37
5.5.5	IsoTimbers luftspalter	38
5.6	Miljöanalys.....	38
5.6.1	Vägg.....	38
5.6.2	Betongplatta	40
5.7	Fuktanalys	42
5.7.1	Risker och konsekvenser.....	42
5.7.2	Transport	44
5.7.3	Förvaring och montage	44
5.8	Jämförelse med tidigare studie om IsoTimber	45
5.8.1	Sammanfattning	45
5.8.2	Jämförelse (med tidigare studier).....	46
6	Slutsatser.....	49
6.1	Energi	49
6.2	Fukt.....	50
6.3	Miljö	50
7	Framtida utvecklingsmöjligheter	53
	Referenser	55
	Bilagor	61

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Bygg- och fastighetssektorn står för stora utsläpp av växthusgaser från byggnadsmaterial- och energianvändning. Byggbranschen står idag för ca en femtedel av Sveriges totala koldioxidutsläpp. Den nivå vi idag ser av nybyggnad har inte varit så hög sedan 1965 till 1974 då miljonprogrammet byggdes i Sverige. Att sammanföra den höga byggtakten byggsektorn har idag med Sveriges klimatmål är en stor utmaning, vilket gör att byggbranschens omställning är av stor vikt. För att åstadkomma detta har byggbranschen tagit fram en färdplan för att nå nettoutsläpp 2045, det vill säga att kompensera upp för de utsläpp som sker. För att nå detta mål krävs att åtgärder sker inom byggsektorns alla områden. Tänkbara åtgärder kan vara byggnadsmaterialmaterial, transport, energi och uppvärmning, avfall eller byggbehov. (Naturvårdsverket - Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan, 2020)

Byggnadsmaterial är ett område med stor potential för klimatförbättring. De höga koldioxidutsläppen i byggsektorn kommer främst från byggnadsmaterial- och energianvändning. (Naturvårdsverket - Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan, 2020). Vilket betonar att detta är ett område där stora förändringar måste ske för att minska byggsektorns miljöpåverkan. Det kan åstadkommas genom att minska användningen av material i byggnader, att använda mer klimatsmart produktion av byggnadsmaterial eller att byta ut byggnadsmaterial mot mer hållbara alternativ. Det finns många nya byggnadsmaterial på marknaden som kan ersättas med redan befintliga byggnadsmaterial som är mer miljövänliga och har mindre klimatavtryck. Ett av dessa byggnadsmaterial är IsoTimber som är framtaget av IsoTimber Holding AB. (IsoTimber, 2020)

IsoTimber, Bild 1, är en relativt ny aktör inom byggsektorn som tillverkar prefabricerade väggar i trä. I Östersund tillverkar IsoTimber bärande och isolerande väggelement med urtag för fönster- och dörröppningar. Väggelementen består av byggblock som helt består av trä, vilket är en både hållbar och förnybar råvara. Byggblocken består av stående träreglar med tusentals frästa spår, fyllda med stillastående luft. Träreglarna omsluts sedan av plywood för att göra byggblocket tätt. Dock finns det inga mätningar som visar hur lufttätt byggblocket faktiskt är. Den stillastående luften i byggblocket får isolerande egenskaper och fungerar som konstruktionens isolering. Byggblocken bildar sedan ett väggelement som både har god lufttäthet och är diffusionsöppet. Detta innebär att inga ytterligare byggnadsmaterial måste användas såsom isolering, plast eller vindspärr. (IsoTimber, 2020)



Bild 1: IsoTimber på mossa. *“IsoTimber i genomskärning där man ser isolerande luftkanaler”* by Usling is licensed under [CC-BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

IsoTimber visar goda kvalitéer för hållbarhet, miljöaspekter, brand och ljudisolering. Däremot finns det inte lika mycket information angående fuktsäkerhet och energieffektivitet, vilket är två viktiga faktorer när det kommer till att bygga hus. (IsoTimber, 2020) (hemsida)

1.1.1 Tidigare studie om IsoTimber

Olika rapporter har granskats för att hitta någon med likande innehåll som detta examensarbete. En rapport skriven av Tomas Östberg stämde ganska bra överens och han tog upp ett likande fall där jämförelse mellan IsoTimber och andra väggkonstruktioner gjordes. (Östberg, 2012) För vidare jämförelse se kapitel 5.8.

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att undersöka och jämföra fuktsäkerheten och energieffektiviteten för ett typhus med IsoTimber. Energieffektiviteten kommer att undersökas genom att jämföra två fall, ett fall byggt med IsoTimber och ett fall uppreglat med traditionella metoder. Miljöaspekter som påverkas av jämförelserna kommer även att undersökas för att ge en bredare bild av hur de två byggnadsmetoderna skiljer sig åt.

Målet med examensarbetet är att granska och redovisa de skillnader och eventuella brister som finns med IsoTimber med hänsyn till energieffektivitet och fuktsäkerhet.

För att uppfylla syftet och målet, svarar arbetet på flera frågor såsom:

Hur fuktsäkert är ett hus av IsoTimber jämfört med ett traditionellt trähus?

Hur energieffektivt är ett hus av IsoTimber jämfört med ett traditionellt trähus?

Hur stor är skillnaden i koldioxidekvivalenter mellan ett hus av IsoTimber och ett traditionellt trähus?

2 Metod och genomförande

Arbetet har genomförts i två olika metoder, en del utgjordes av faktainsamling och den andra av fallstudier med energiberäkningar i VIP Energy.

Faktainsamlingen skedde genom en litteraturstudie. De böcker som användes var både tidigare kurslitteratur och böcker som hittades genom sökning på LUBsearch med sökorden: betong, fuktsäkerhet, energieffektivitet, isoleringsförmåga för luft. Rapporterna som användes hittades via LUBsearch med sökorden: fuktsäkerhet, värmeisoleringsförmåga. Websidorna som användes hittades via Google med sökorden: IsoTimber, Isover, fukttransport i trä.

Beräkningar i VIP Energy har utgått från ett typhus som tillhandahölls i en tidigare kurs under utbildningen. För vidare beskrivning av VIP Energy se Kapitel 4.1. Ritningarna för typhuset kommer från början från NCC. Vissa parametrar så som väggjocklek och A_{temp} under beräkningarna i programmet, har ändrats. Dimensioner och U-värden från IsoTimber fallet har hämtat från IsoTimbers hemsida. Indata hämtades från Sveby och Petter Wallentén.

För att kunna besvara de frågor som ställs i problemformuleringen genomfördes undersökningar av olika fall och scenario. För mer information om de olika fallen, se kapitel 4 Fallstudie, på sidan 19.

2.1 Avgränsningar

Undersökningarna av energianvändning kommer endast att ta hänsyn till skillnader i ytterväggarnas konstruktion. Jämförelserna kommer inte att utföras för olika klimatzoner utan endast för kallt klimat enligt Köppens klimatklassificering. (SMHI 2019) Examensarbetet kommer ej att beröra detaljer så som möten i hörn av ytterväggar, mellan takstolar och yttervägg, mellanbjälklag och yttervägg eller yttervägg och betongplatta. Köldbryggor och dess konsekvenser kommer inte heller att beaktas och undersökas.

Examensarbetet kommer att anta att R_{se} blir lika stort som R_{si} för att ersätta fasadbeklädnaden. Energiberäkningarna kommer att börja i utsidans luftspalt. Aktiv design för att minimera energiförluster såsom fönsterriktning kommer inte att tas hänsyn till.

Ventilationen kommer att uppfylla BBR-krav, men inte förbättras för att öka energieffektiviteten.

Rapporten kommer endast använda materialegenskaper från Isover till mineralullen. Övriga materialegenskaper kommer att hämtas från IsoTimbers hemsida och boken Praktisk byggnadsfysik, (Sandin, 2016).

Vidare kommer fuktanalysen endast undersöka riskfaktorer från luftfukt inne och yttre fuktkällor så som nederbörd och inte läckage från t.ex. rördragnig i konstruktionen.

3 Teori

Teoriavsnittet bygger på, Arfvidsson, J.; Harderup, L.E.; Samuelson, I. (2017), Fukthandbok, AB Svensk Byggtjänst, Halmstad

3.1 Fuktsäkerhet

3.1.1 Bakgrund

Byggnader och fastigheter utsätts ständigt för fukt i olika former. Varje år drabbas många byggnader av fuktskador, vilket har ökat under de senaste åren. Av alla byggnadsskador anses mer än 80% vara fuktrelaterade på något sätt. Konsekvenserna av fukt kan vara synliga i form av fuktfläckar, vittring eller saltutfällning men de kan också vara osynliga i form av osynliga mögelangrepp eller emissioner av giftiga ämnen. De osynliga konsekvenserna är oftast allvarligare. Mögelpåväxt kan även leda till luktproblem och allergier, vilket många familjer har drabbats av. Konsekvenser av fukt kan också medföra att materials egenskaper förändras i form av hållfasthetsreduktion, dimensionsförändringar eller försämrade värmeisolering. (Sandin, 2016)

För att utforma en byggnad på bästa sätt är det viktigt att känna till och ha kunskap om de fuktkällor som påverkar en byggnad. Fuktkällor kan vara:

- Nederbörd i form av regn, snö eller slagregn
- Luftfukt utomhus eller inomhus
- Markfukt
- Byggfukt
- Limfukt
- Läckage
- Vattenspolning
- Våtstädning (Sandin, 2016)

3.1.2 Kritiskt fukttillstånd

Det kritiska fukttillståndet är en materialegenskap. Det avser det högsta fukttillstånd ett material kan uppnå utan att materialets funktion drastisk förändras eller medför annan skada. En del material är tidsberoende vilket innebär att material under en kort tid klarar av högre fukttillstånd än det kritiska utan olägenheter eller skada. Ett exempel på detta är mögelangrepp på trä. För andra material räcker det att överstiga det kritiska fukttillståndet en gång för att det ska skadas. (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

Det kritiska fukttillståndet anges för de flesta materialen som relativ fuktighet RF_{krit} , i andra fall kan kriterier användas så som kritisk vattenmättnadsgrad (vid risk för frostangrepp). (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

Tabell 1: Exempel på kritiska fuktnivåer för några material (Arfvidsson, Harderup, Samuelsson, 2017)

Byggnadsmaterial	Bedömd kritisk fuktnivå
Gipsskiva	80 – 85 %
Träbaserade skivor	75 – 80 %
Betong	90 – 95 %
Trä	75 – 80 %
Mineralull och andra isoleringsmaterial	90 – 95 %

3.1.2.1 Angrepp av bakterier och svampar

Trä riskerar att under hela dess livslängd, från lagring till färdig byggnad utsättas för virkesförstörande organismer så som bakterier och svampar. Organismernas existens bygger på att följande kriterier är uppfyllda, tillräckligt mycket syre, lämplig temperatur och fuktinnehåll. Kravet på lämpligt fuktinnehåll kan uppfyllas t.ex. genom bristfälligt genomförande av byggtkniska moment. Brister kan vara kvarvarande byggfukt, kondens i väggar, vattenavrinning som är utformad felaktig mm. (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

3.1.3 Lufttätet

En byggnad ska kunna “andas”. Inte genom väggar och tak utan med hjälp av ventilationssystem. För att detta ska fungera bör byggnadens klimatskiljande delar ha så god lufttätet som möjligt. (Sandin, 2016)

Läckage i uppvärmda byggnader medför risk för fuktskador då luften i byggnadsdelen kyls ner och kan leda till kondens. Ånghalten i inomhusluften ökas av t.ex. människors aktivitet. I basfallet “kuben” används ett FTX-system, vilket innebär att tryckförhållandena bestäms av hur från- och tilluft balanseras. Övertryck uppstår i byggnaden då tilluftsfläktarna tar in mer luft än vad frånluftsfläktarna suger ut. Vilket resulterar i att en del av luftflödet går från varm till kallt genom byggnadens otäteter. Då den varma luften passerar genom håligheter och kommer i kontakt med den kallare uteluften eller material stiger den relativa fuktigheten vilket leder till att RF_{krit} kan överskridas eller till och med leda till kondens. För att minimera risken för skadlig fuktkonvektion är det viktigt att hålla ett undertryck i byggnaden. Fläktarnas inställning är därmed av stor betydelse och bör anpassas för olika årstider, då tryckdifferensen varierar under ett år. (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

Lufttätet bestäms oftast ur energisynpunkt av energiberäkningarna vilket kan bli det indirekta kravet för projektet. Medan det för fuktkrav beror på om det aktuella området är känsligt för fukt. Oavsett om det är energi- eller fuktkrav som styr får det inte läcka ut någon luft vid känsliga punkter. Lufttätet kan påverka fuktillståndet, ventilationen, den termiska komforten, samt byggnadens värmeförluster. (Sandin, 2016)

3.1.4 Nollkrav

Boverket har idag inga mätbara eller specifika krav när det kommer till fuktsäkerhet. Däremot finns det nollkrav för fuktskador som kan påverka hälsa och inomhusmiljö. Det vill säga att fuktskador inte får förekomma. Boverkets byggregler (2011:6) har som sagt inga krav men ger ett allmänt råd att använda sig utav ByggaF som är en metod för att fuktsäkra byggprocessen, se avsnitt 3.1.4.1. (Boverket - fuktsäkerhet, 2017)

Utöver Boverket finns plan- och bygglagen som är en lag i Sverige vilket reglerar planläggning av byggnader, mark och vatten. Plan- och bygglagen ligger som grund för plan- och byggförordningen som sedan ligger till grund för BBR. BBRs krav är på så sätt grundade av både lagen och förordningen. Plan- och bygglagen (2010:900) säger att "ett byggnadsverk ska ha de tekniska egenskaper som är väsentliga i fråga om:

3. skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljön.

För att uppfylla detta krav säger plan- och byggförordningen (2011:338) att ett byggnadsverk ska vara projekterat och utfört på ett sådant sätt att det inte medför en oacceptabel risk för användarnas eller grannarnas hygien eller hälsa, särskilt inte som följd av:

6. förekomst av fukt i delar av byggnadsverket eller på ytor inom byggnadsverket."

Dessa krav uppfylls genom att följa BBR. (Boverket - fuktsäkerhet, 2017)

3.1.4.1 ByggaF

Branschstandarden ByggaF är en metod som används för att säkerställa, dokumentera och kommunicera fuktsäkerheten genom hela byggprocessen. ByggaF innehåller hjälpmedel och rutiner för alla parter i byggprocessen. (ByggaF, 2013)

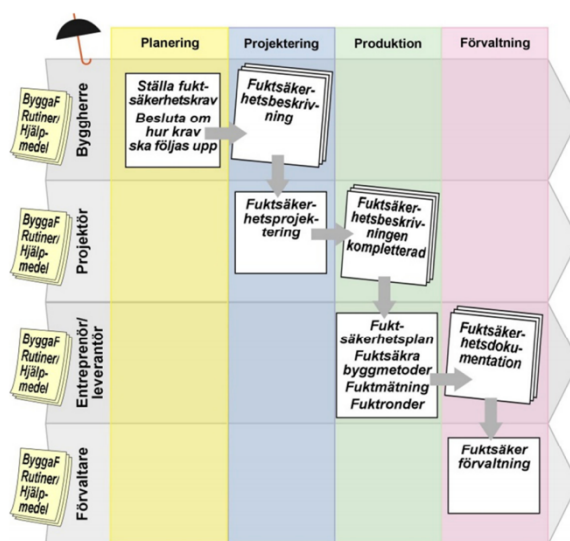
Syftet med metoden är att uppmärksamma fuktfrågor så tidigt i projekteringsfasen som möjligt för att sedan ha med det i hela processen. Det är även viktigt att man på ett välordnat sätt redogör för de aktiviteter och åtgärder som krävs för att få en fuktsäker byggnad. Då det tidigt ställs krav på fuktsäkerhet och aktiviteter kan de på ett smidigt sätt integreras i programhandlingar, systemhandlingar och kontrollplaner m.m. Att kraven redogörs tidigt underlättar även för val av stora poster som påverkar hur fuktsäker byggnaden blir i slutändan, t.ex. arbetsmetoder och system- och materialval. (ByggaF, 2013)

Syftet med fuktsäkerhetsarbetet är att kunna utforma och konstruera byggnader på ett sådant sätt att fukt inte orsakar skador som kan påverka människans hälsa och hygien, på ett negativt sätt. För att uppnå en fuktsäker lösning är det väsentligt att fuktsäkerhetsarbetet ingår i hela byggprocessen, från programskedet till förvaltningsskedet, figur 1.

- Programskedet: Under programskedet kan byggherren påverka förutsättningarna att fuktfrågor behandlas på ett kvalificerat sätt och välja de konsulter och entreprenörer som har kompetens att hantera fuktfrågor på ett korrekt sätt.
- Projekteringskedet: Under projekteringskedet ansvarar projektören för att byggnaden konstrueras på rätt sätt för att den ska ha god fuktsäkerhet. Åtgärder

som kan vidtas är att minimera byggfukt, fuktskydd under arbetstiden, korrekt materialförvaring på arbetsplatsen och tydligt ange vilka kontroller som behövs och ska utföras.

- Byggskedet: Under byggskedet är det nederbörd och byggfukt som har den avgörande betydelsen för byggnadens utformning. Det är viktigt med kontroller och kvalitetssystem.
- Förvaltningsskedet: Under förvaltningsskedet krävs rutiner för underhåll och regelbundna besiktningar för att bibehålla god funktion och beständighet. Att ha tydliga och lättförståeliga instruktioner för städning och skötsel samt en lyhörddhet från brukare är av stor vikt. (Sikander och Freiholtz, 2000)



Figur 1: ByggaF metod för fuktsäker byggprocess (ByggaF, 2013)

3.2 Fuktransport i trä

Trä har stor benägenhet att absorbera vattenånga eftersom det består av cellulosa, hemicellulosa och lignin. Det gör att trä är ett byggnadsmaterial som har ett stort fukttinnehåll även vid normala relativa fuktigheter. (Burström, 2006) Fukten i trä består i huvudsak av två olika former, fritt och bundet vatten. Det fria vattnet finns i cellernas hålrum och det fysikaliskt bundna vattnet finns i cellväggarna. Torkas träet, avgår först den största delen av det fria vattnet i fibrernas cellhåligheter och sedan avges det fysikaliskt bundna vattnet i cellväggarna. (Svenskt Trä, 2021) Träets cellväggar kan absorbera vatten till en specifik övre gräns då träet blir mättad med vatten. Den fuktkvot träsubstansen har då den blir mättad kallas fibermättnadspunkten. Ett tillstånd som motsvarar approximativ jämvikt med en relativ fuktighet på 100 procent. Fibermättnadspunkten ligger beroende på träslag normalt mellan 23- och 30 procent av fuktkvoten. (Träguiden, 2017)

Då fibermättnadspunkten uppnåtts sker fukttransporten främst genom kapillär fukttransport och i mindre utsträckning genom ångdiffusion. Den kapillära strömningen sker genom cellumen och därefter genom cellväggens ringporer. (Träguiden, 2017), (Burström, 2006)

3.2.1 Fuktupptagning

Fuktkvoter i virke över fibermättnadspunkten resulterar i att uppsugningen av vatten sker kapillärt. Upptagningen sker dubbelt så fort i den radiella riktningen som i den tangentiella riktningen och ungefär tjugo gånger snabbare i fiberriktningen än i den tangentiella. (Träguiden, 2017)

Fuktkvoter i virke under fibermättnadspunkten resulterar i att fukttransporten sker via diffusion. Skulle virket bli stående i vatten, t.ex. i mötet mellan bärande regel och syll, sker fukttransporten kapillärt även då virket är torrt. Fuktförändringar med dessa förutsättningar sker långsammare då vattenmolekylerna passerar genom träets cellväggar i ångform. Ju lägre fuktkvot desto långsammare sker förändringen. (Träguiden, 2017)

3.2.2 Fuktvandring i yttervägg

Då konvektion är orsaken bakom fuktvandringen innebär det att vatten i ångfas följer med en luftström. För att en luftström ska bildas måste skillnader i totaltryck uppstå som kan bildas t.ex. av skillnader i densitet, vilket uppkommer vid temperaturskillnader. Om luftströmmen går från varmt till kallt resulterar detta i att den ånghaltiga luften kyls ner. Detta kan i sin tur leda till kondensation, hög fuktighet och fuktanrikning. Går luftströmmen i stället från kallt till varmt resulterar detta i att den ånghaltiga luften värms upp, vilket ökar luftens förmåga att ta upp fukt. Processen blir i stället uttorkande. (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

För att hindra transporten av luftfukten genom en uppreglad konstruktion krävs ett luft- och ångtätt skikt, dock inte i massivträkonstruktioner. Anledningen är att trä kan hantera fukttransporten genom väggen, men då fler material blandas in som släpper genom fukt olika mycket blir en fuktspärr viktig. (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

3.3 Energieffektivitet

Energieffektivitet innebär att med en så liten mängd energi som möjligt bibehålla ett visst inomhusklimat. (Nationalencyklopedin, 2021) Inom byggnadsfysik innebär det att sänka byggnadens energianvändning utan att dess förmåga att upprätta och bibehålla ett visst inomhusklimat försämras vilket leder till minskade utsläpp av växthusgaser, kväveoxider, partiklar och flyktiga organiska ämnen. Detta minskar även behovet för värme- och elproduktion. (Naturvårdsverket - Energieffektivisering i bostäder och lokaler, 2020)

I Sverige står lokaler och bostäders energianvändning för över en tredjedel av den totala energianvändningen. Om målet på noll nettoutsläpp av växthusgaser år 2050 ska nås är detta ett område där det måste ske en markant förbättring inom en snar framtid. (Naturvårdsverket, 2020)

3.3.1 Värmeledningsförmåga

Värmeledningsförmåga beskriver ett materials förmåga att leda värme. För porösa material baseras definitionen av lambdavärdet på det värmeflöde som uppkommer på grund av temperaturskillnaden över skiktet. I ett poröst material sker värmeövergången främst genom konvention och delvis genom strålning. Det som gör att porösa material lämpar sig som isoleringsmaterial är att luften i porerna har ett lambdavärde som är omkring en hundradel (1/100) av lambdavärdet för ett kompakt material. Även trä är ett material med hög porositet. Lambdavärdet vinkelrätt mot fibrerna är ca 0,14 W/(m·K). I fiberriktningen är värdet 2.5 gånger större än det vinkelrätt mot fibrerna. (Burström, 2006)

3.3.2 Krav

Plan- och bygglagen (2010:900) 8 kap. 4§ säger att ett byggnadsverk ska ha de tekniska egenskaper som är väsentliga i fråga om:

6. energihushållning och värmeisolering

För att uppfylla detta krav säger plan- och byggförordningen (2011:338) 3 kap. 14 § att en byggnad ska:

1. ha en mycket hög energiprestanda där den energi som tillförs i mycket hög grad kommer från förnybara energikällor.
2. ha särskilt goda egenskaper när det gäller hushållning med el.
3. vara utrustad med en klimatskärm som säkerställer god värmeisolering. (Boverket - Energihushållning, 2020)

I BBR skrivs de tre punkterna från plan- och byggförordningen om till tre mer konkreta krav. Kraven är hämtade för småhus vars A_{temp} är mellan 90 och 130 kvadratmeter. I BBR (2011:6) skrivs dessa punkter som:

1. Krav på energiprestanda uttryckt som primärenergitalet EP_{pet} (kWh/m² och år). Högsta tillåtna värdet är 95 kWh/m² A_{temp} och år.
2. Krav på maximalt installerad eleffekt för uppvärmning, det vill säga hushållningen av el. Högsta tillåtna installerade eleffekt för uppvärmning (kW) är $4,5 + 1,7 \times (F_{geo} - 1)$.
3. Krav på byggnadens genomsnittliga värmegenomgångstal, det vill säga hur väl isolerad den är. Högsta tillåtna genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m (W/m²K) är 0,30. (Boverket - Energihushållning, 2020)

3.4 IsoTimbers luftspalter

IsoTimbers byggblock är endast uppbyggda av två byggnadsmaterial, trä och luftspalter. Detta gör att den stillastående luften i luftspalterna fungerar som det isolerande skiktet i

själva konstruktionen. Hur detta fungerar beror på strålning och konvektion. (IsoTimber, 2020)

3.4.1 Strålning

Termisk strålning, så kallad emission är något alla kroppar ger ifrån sig. Ett föremål som absorberar all strålning som denna träffas av kallas en svart kropp. Det finns ingen yta som uppfyller detta krav men många ytor beter sig nästan som en sådan och begreppet svart kropp tillämpas vid beräkningar av dessa. (Sandin, 2016)

3.4.1.1 Långvågig strålning

Långvågig strålning har en inverkan hos temperaturen på såväl innerytor som yttertor. Ekvationen för värmeöverföringskoefficienten bygger på att värmeutbyte kan ske i lika stor utsträckning runt hela halvsfären. Villkoret uppfylls till exempel för en yta på en ytterväggs insida om ytan omsluts av uppvärmda utrymmen. Vid undersökning av strålningsutbytet i mötet mellan två ytterväggar i ett hörn sker det endast med halva halvsfären. Ytterligare en halvering av halvsfären sker vid undersökning av mötet mellan två ytterväggar och yttertak. Värmeutbyte genom strålning kan ej ske om alla ytor har samma temperatur. För ytor på byggnadens utsida sker värmeutbytet genom långvågig strålning främst med himlavalvet men även mellan närliggande ytor till exempel andra byggnader. Ytorna som påverkas av detta är i huvudsak tak men ytterväggar påverkas också. (Sandin, 2016)

3.4.1.2 Kortvågig strålning

Energitillförseln som sker till följd av direkt och diffus strålning från solen kallas kortvågig strålning. Kortvågig strålning är av stor vikt vid fuktbalansberäkningar för ytterväggar och yttertak. Byggnadens energibalans påverkas ofta markant av den solstrålning som träffar dessa ytor. Huvuddelen av strålningen absorberas av ytan den träffar. Kulör på ytan har stor betydelse för hur mycket energi som absorberas. (Sandin, 2016)

Fönsterglasat som förekommer i de flesta bostäderna utgör inget stort hinder för den kortvågiga strålningen utan släpper genom den. Strålningen träffar ytor inne i huset, absorberas och omvandlas till värmeenergi. Den återstrålning som sker är istället långvågig vilket glasrutorna är bättre på att blockera. (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

3.4.2 Konvektion

Den värmeöverföring som sker genom konvektion betyder att en vätska eller gas strömmar förbi en yta och för med sig värme från den varmare ytan eller tillför värme till en kallare yta. Inom byggnadsfysiken är det främst luft som är det värmeöverförande mediet. Överföringen påträffas i gränsskiktet mellan luft och det fasta materialet vid tak, golv, väggar och i luftspalter. Konvektion förekommer i två former påtvingad- eller egenkonvektion, också kallad naturlig konvektion. (Sandin, 2016)

Påtvingad konvektion är luftrörelser som uppkommer av yttre påverkan t.ex. genom fläktar eller vindens påverkan. (Sandin, 2016)

Egenkonvektion är ett resultat av de luftrörelser som uppkommer av temperaturdifferenser mellan yta och omgivande luft. Luftrörelserna skapas av densitetsskillnader mellan kallare och varmare luft. Den varma och lättare luften stiger medan den tyngre kylda luften sjunker. (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

3.4.3 Isoleringsförmåga av stillastående luft

Det praktiska värmemotståndet av luftspalter är sammanställt i standarden ISO SS-EN ISO 6946:2017, se Tabell 2.

Tabell 2: Isoleringsförmåga av luftspalter (SiS, 2017) SS-EN ISO 6946:2017)

Tjocklek på luftskikt mm	Värmemotstånd (m ² ·K)/W Riktning på värmeflöde			Lambda-värde för resp. Tjocklek W/(m ·K) Riktning på värmeflöde OBSERVERA*		
	Uppåt	Horisontellt	Nedåt	Uppåt	Horisontellt	Nedåt
0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
5	0,11	0,11	0,11	0,045	0,045	0,045
7	0,13	0,13	0,13	0,054	0,054	0,054
10	0,15	0,15	0,15	0,067	0,067	0,067
15	0,16	0,17	0,17	0,094	0,088	0,088
25	0,16	0,18	0,19	0,156	0,139	0,132
50	0,16	0,18	0,21	0,313	0,278	0,238
100	0,16	0,18	0,22	0,625	0,556	0,455
300	0,16	0,18	0,23	1,875	1,667	1,304

3.5 Sveby

3.5.1 Bakgrund

Sveby är ett utvecklingsprogram som bedrivs av bygg- och fastighetsbranschen och finansieras av SBUF, CERBOF och branschrepresentanter. Det är ett branschöverskridande program som riktar sig till aktörer som påverkas av hur energiprestandan av en byggnad definieras och verifieras, vilket kan vara allt från fastighetsägare till konsulter. Programmet fastställer standardiserade bruksdata inom bygg- och fastighetsbranschen för beräkning och verifiering av hur en energiprestanda ska gå till väga. Genom användning av Boverkets BBR-krav samt uppföljning av energiprestanda, leder detta till en bättre förståelse och kontroll av hur mycket energi en byggnad förväntas använda och sedan hur mycket den faktiskt använder. (Sveby, 2012)

Syftet med Svebys utvecklingsprogram och anvisningar är att standardisera brukarens inverkan och hur den ska användas för beräkning av energianvändningen och att beräkningsresultatet bättre ska stämma överens med verkligheten.

Utvecklingsprogrammet ska garantera branschanpassat underlag för energianvändning, från beräkningar i tidiga skeden som verifieras med uppmätta värden. (Sveby, 2012)

3.5.2 Värdenas ursprung

De värden som redovisas grundar sig i ett arbete som utförts för att hitta representativa data för brukande av nyproducerade bostäder ur den stora mängden insamlat byggnadsmaterial. Den representativa data har sedan förankrats och standardiserats. (Sveby, 2012)

3.5.3 Standardiserad brukare

Standardiserad brukare är ett begrepp som används för att kunna beskriva ett brukande anpassat till olika byggnader. Brukarens beteende är samma men förutsättningarna såsom lägenhetsstorlekar, utrustning i form av vattenarmaturer och vitvaror med mera, kan skilja sig åt. (Sveby, 2012)

Aktivitetsbaserade delposter för de viktigaste komponenterna skapar en bild av tappvarmvatten- och hushållselanvändningen. Det finns även en restpost som har kalibrerats till att stämma överens med den statistik som finns tillgänglig och för några flerbostadshus med kända förhållanden. Då prestanda hos nyare utrustning kan matas in direkt i modellen kräver den inte så mycket uppdatering som om det vore en statistisk modell. (Sveby, 2012)

3.5.4 Brukarindata

På Swebys hemsida listas de punkter som ingår i brukarindata:

- Innetemperatur (börvärde) vid uppvärmning resp. kylning (inkluderar ev. tidsstyrning) på uppvärmnings och kylanläggning).
- Krav på luftväxling för brukande, främst drifttider och behovsstyrning.
- Vädringspåslag till luftflöden för främst bostäder. Kan vara olika för olika typer av ventilationssystem.
- Solavskärmning med manuell användning som gardiner, markiser m.m.
- Personvärme, alstrad av brukare. Antal personer och närvarotid för olika brukande som medelvärden eller tidsscheman.
- Tappvarmvattenanvändning per brukare och ev. effekt av individuell mätning.
- Hushållsel till bostäder, medelvärden alternativt tidsscheman.
- Verksamhetsel (inkl. processel och processkyla för lokaler av olika slag), medelvärden alternativt tidsscheman.
- Belysning, användning, del av verksamhetsel eller driftel (fastighetsel) (i EG-direktivet om byggnaders energiprestanda skiljs på belysningsel och driftel).
- Internvärme, alstrad från andra källor än uppvärmningssystemet (elanvändning m.m.). Kan anges som nyttiggjord/ej nyttiggjord andel av posterna ovan för värme och kyla. (Sveby, 2012)

3.6 Miljöpåverkan

Enligt Boverket (Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn, 2021) stod bygg- och fastighetssektorn år 2018 för 21 procent av den totala andel växthusgaser Sverige släppte ut, vilket översätts till 11,8 miljoner ton koldioxidkvivalenter. De höga koldioxidutsläppen i byggsektorn kommer främst från byggnadsmaterial- och energianvändning. Byggnaderna i Sverige står för ungefär 40 procent av den totala energianvändningen. (Naturvårdsverket - Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan, 2020)

År 2018 uppkom det cirka 12,4 miljoner ton primärt bygg- och rivningsavfall från byggsektorn i Sverige, där 0,6 miljoner ton stod för farligt avfall. Primärt avfall är det avfall som uppkommer direkt av produktion och konsumtion. Dessa mängder motsvarar 35 procent av allt avfall i Sverige och 22 procent av allt farligt avfall. Det icke-farliga avfallet består främst av jordmassor, träavfall, muddring, mineralavfall och metallavfall. Det farliga avfallet består till största del av förorenade jordmassor och mineralavfall. (Boverket - Bygg- och fastighetssektorns uppkomna mängder av avfall, 2021)

3.6.1 Betong

Betong är världens viktigaste och vanligaste byggnadsmaterial och är dominerade inom både infrastruktur och industri- och husbyggande. Materialet består av ca 80% ballast (grus, sand, sten) och resterande del utgörs av cement (kalksten och lera), vatten och eventuellt mycket små mängder tillsatsmedel för att förbättra vissa egenskaper hos betongen. Betongen har många fördelar då den kan stå emot fukt, värme och kyla. Materialet håller väldigt länge och kräver minimalt med underhåll. Betongen kan också återvinnas vid rivning eller ombyggnad. (Gillberg, Fagerlund, Jönsson, och Tillman, 1999)

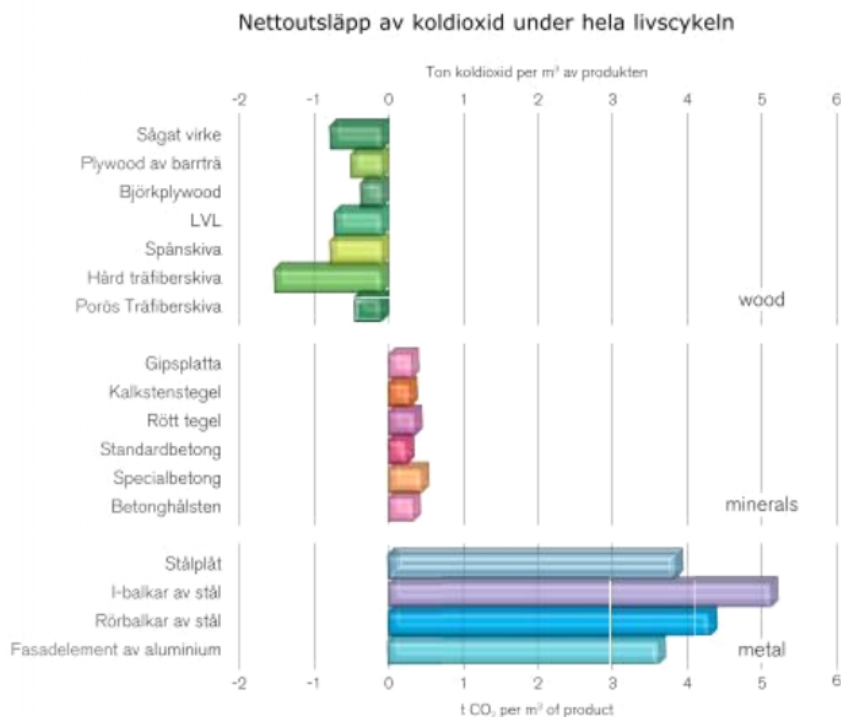
Trots alla dessa fördelar är betong ett byggnadsmaterial med stor miljöpåverkan. Den största faktorn som påverkar betongens miljöpåverkan är cementtillverkningen. Vid tillverkningen av cement går det åt stora mängder energi. Det går åt ca 100kWh el för att producera ett ton cement. Energin som går åt vid tillverkningen baseras främst på fossila bränslen som olja och kol, vilket avger stora mängder koldioxid. (Gillberg, Fagerlund, Jönsson, och Tillman, 1999)

Cementfabriker har också stora utsläpp av försurande svavel- och kväveoxider. Dessa gaser släpps ut vid förbränning av fossila bränslen. När svaveldioxid släpps ut i atmosfären oxiderar den vilket bildar svavelsyra som bidrar till försurning av mark och vatten. En för hög försurning leder till utdöende av arter samt vittring av maskiner, byggnader och kulturarv. Utsläppet av kväveoxider är en av de största orsakerna till övergödning av mark och vatten. Övergödningen ger en ökad produktion av alger och kan minska den biologiska mångfalden. (Gillberg, Fagerlund, Jönsson, och Tillman, 1999)

3.6.2 Trä

Trä som byggnadsmaterial är en förnybar resurs, dock är det diskutabelt hur beständig tillväxten av det är. Utöver att trä är en förnybar resurs krävs det en liten energiinsats för utvinningen av trä. Med hjälp av fotosyntesen binder trä även koldioxid vid skogens tillväxt, vilket är en enorm fördel då ett av de största miljöproblemen är koldioxidutsläpp. (Träguiden, 2015)

Det finns fördelar med trä som byggnadsmaterial under alla de tre faserna: produktionsfasen, användningsfasen och slutfasen. Vid hyvling och sågning under produktionsfasen är energibehovet jämfört med t.ex. stål litet, och de biprodukter som uppstår används som bränsle till sågverkens torkar. Under användningsfasen fortsätter träet att lagra koldioxid. Då det är enkelt att bygga till och om träbyggnader bidrar det till att förlänga byggnadens livstid. Bygghetaljer av trä t.ex. dörrar, fönster och golv som tas om hand kan återanvändas, vilket ytterligare förlänger koldioxidens lagringstid. De detaljer som inte går att återanvända kan materialåtervinnas och användas i t.ex. träfiberskivor. I det sista skedet slutfasen används utslitna produkter som biobränsle. (Svenskt Trä, 2020)



Figur 2: Nettoutsläpp av koldioxid under hela livscykeln för olika material (Beyer, Defays, Fischer, Fletcher, de Munck, de Jaeger, Van Riet, Vandeweghe och Wijnendaele, 2020 s.38)

3.6.3 Plast

Av all den plast som årligen konsumeras inom EU står byggsektorn ungefär för 20 procent. (Stockholms stad, 2019). I Sverige står byggsektorn för en tredjedel av landets totala avfall om man bortser från det gruvindustrin genererar. (Sandqvist, 2019). Användningsområden för plast är rör, isolering, fog och färg m.m. Under nyproduktion kan spill och stora mängder av förpackningsplast förekomma. Enligt naturvårdsverket (2016) var plastavfall sett till vikt den femte största kategorin efter jordmassor, mineraler, trä och metaller. Vidare skriver Naturvårdsverket att plastavfallet som genereras av byggbranschen varje år väger cirka 60 000 ton. Det är endast 2 procent dvs 1 200 ton som går till direkt materialåtervinning. (Sandqvist, 2019 s. 31)

Enligt Liljenström, Malmqvist, Erlandsson, Fredén, Adolfsson, Larsson och Brogren (2015) är det produktion och transport av spillmaterial samt energianvändning under byggskedet som genererar störst klimatpåverkan. Posterna står för 35 respektive 37 procent av den totala klimatpåverkan. Spillmaterialet kan b.la. bestå av skadat material eller att man beställt mer än vad som använts. I den totala klimatpåverkan av spillmaterial ingår även transport av det från produktionsplats till byggplats och sedan från byggplats till avfallshantering.

Förpackningar och emballage är en av de produktgrupper som omfattas av lagstiftat producentansvar. Det betyder att den som tillverkar produkten är ansvarig för att denna är möjlig att återanvända eller återvinna. (Sandqvist, 2019)

Cirka 85 procent av den plast som användes under byggnationen av huset återfanns i stommen s. 56. Och av dessa 85 procent återfinns 93 procent av de plastprodukter som används i grunden, 4 procent i tak och 3 procent i väggar. (Sandqvist, 2019 s. 59 figur 6.4) Även om den villa som undersökts i rapporten inte är densamma som används till typhus i detta examensarbete är ändå uppbyggnaden med lösvirkes väggar och platta på mark samma.

4 Fallstudie

4.1 VIP Energy

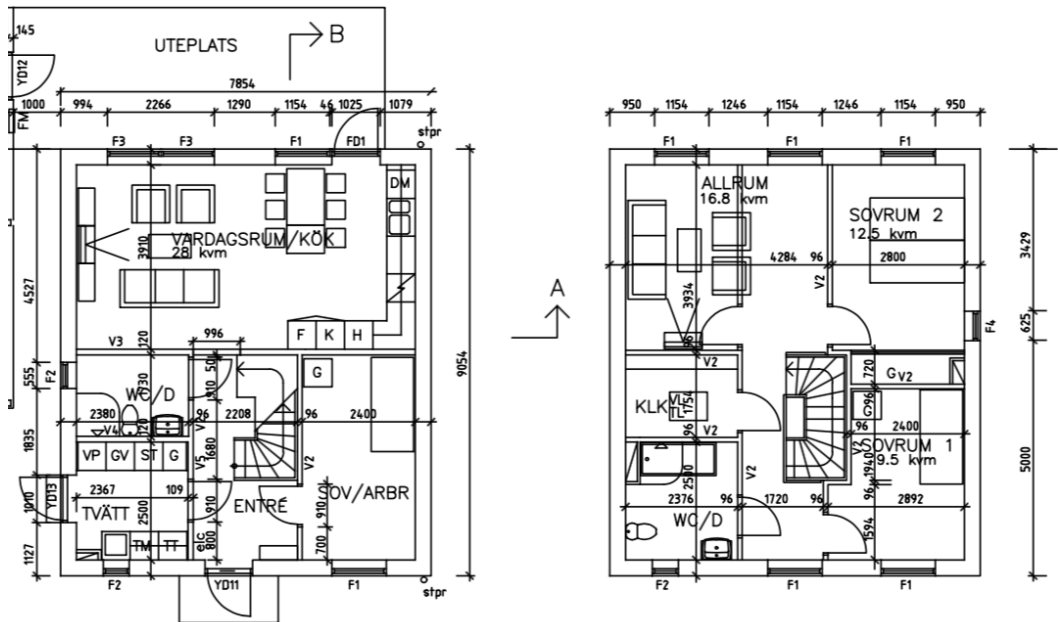
VIP Energy är ett energiberäkningsprogram för byggnader som är utvecklat av StruSoft AB. Programmet är uppbyggt kring en dynamisk beräkningsmodell och simulerar vad som händer med en byggnad timme för timme i ett helt år. Det skapar en komplett årlig timvis beräkning av energianvändningen. (StruSoft 2021) Energiflöden beräknas utifrån kända eller mätbara faktorer. Det går sedan att jämföra byggnaden mot gällande regler för rumsklimat och energihushållning. (StruSoft, 2020)

Energiflöden för en byggnad beräknas med hänsyn till påverkan av klimatfaktorerna luftfuktighet, vind, sol och lufttemperatur. Rumstemperaturen och luftväxling styr beräkningen med varierade krav. (StruSoft, 2020)

Beräkningsprogrammet är främst optimerat för beräkningar av den totala energianvändningen och lämpar sig därför inte för dimensionering av effektbehov för värme och kyla var för sig. Detta påverkar vilka parametrar som kan ställas in och vilka som redan i programmet är förvalda. (StruSoft, 2020)

4.2 Beskrivning av objektet "Kuben"

Objektet "Kuben" är hämtad från tidigare kurs i utbildningen, Energihushållning (VBFF15). Kursen gick ut på att utifrån ritningar sammanställa ett typhus i VIP Energy för att optimera husets energianvändning. Ritningarna, Figur 3, var hämtade från NCC:s typhus "kuben".



Figur 3: Planlösning för basfallet "kuben". Plan 1 till vänster och plan 2 till höger. (Wallentén, 2020)

4.2.1 Förutsättningar

Tabell 3: Brukarindata för småhus från Sveby

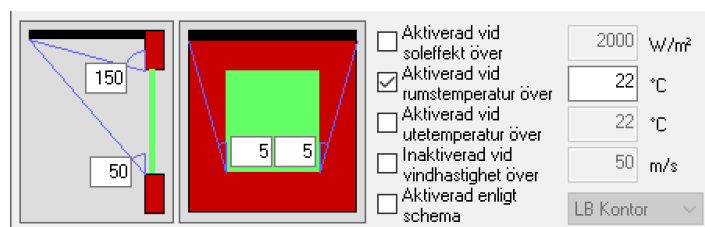
Parameter	Delparameter	Delparameter	Värden
Innetemperatur	Uppvärmningssäsong		21 °C
Luftflöden	Behovsstyrda flöden	Forcering i kök	30 min per dag
	Vädringspåslag	Energipåslag	4 kWh/m ² år
Solavskärmning	Avskärningsfaktor	Total (Fast och rörlig)	0,5 (0,71 och 0,71)
Tappvarmvatten	Energi	Årsschablon	20 kWh/m ²
	Internvärme	Möjligt att tillgodogöras	20 %
Hushållsel	Energi	Årsschablon	30 kWh/m ²
	Internvärme	Möjligt att tillgodogöra	70 %
Personvärme	Närvarotid		14 timmar per dygn och person
	Effektavgivning		80 W per person

De förutsättningar som krävs för att genomföra beräkningarna i VIP Energy men som inte fanns angivna på Sveby hämtades från kursen VBFF15. Nedan finns en lista med all gemensamma indata för beräkningarna:

Tabell 4: Gemensamma förutsättningar

Parameter	Värde	Källa
Ort	Stockholm	Wallentén (2020)
P_{gratis}	70% av hushållselen och hela personvärmen	Wallentén (2020)
q_{50}	0,5 l/ m ² vid 50 Pa	Wallentén (2020)
q_{ov}	0,11 oms/h	Wallentén (2020)
Ventilation	0,37 l/ m ²	Wallentén (2020)
FTX effektivitet	77%	Wallentén (2020)
F_{geo}	1,0	Boverket 2016
Bergvärmepump (COP)	5 kWh	Wallentén (2020)
PE_i	1,0	Boverket 2016
Luftens densitet	1,2 kg/m ³	Sandin (2016)
Luftens specifika värmekapacitet	1000 J/kgK	Sandin (2016)
Energi för fläkt	5 kWh/m ²	Wallentén (2020)
Personbelastning	4 personer	Wallentén (2020)

Solskydd är placerat enligt, Figur 4.



Figur 4: Solskyddsinställningar för typhuset (Wallentén, 2020)

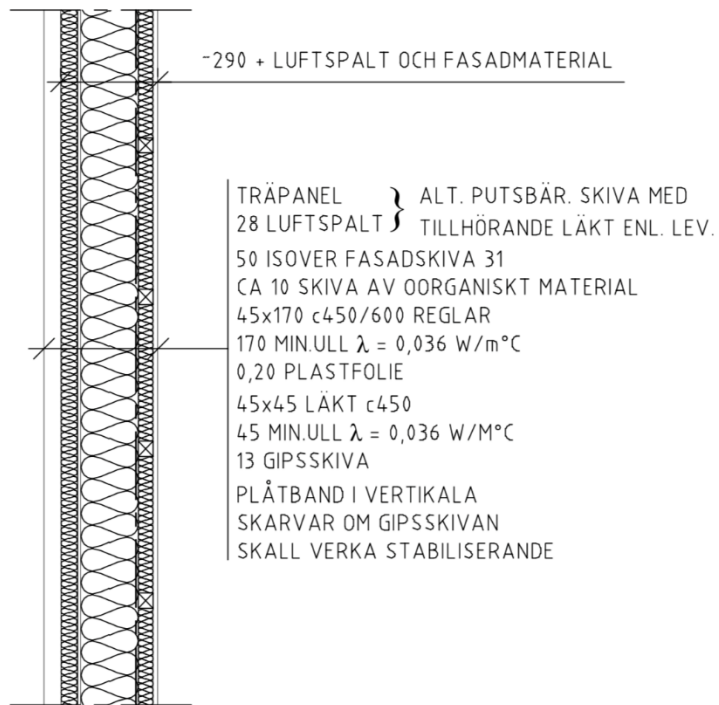
4.3 Fall 1: Typvägg

Typväggen är hämtad från tidigare kurs i utbildningen, Energihushållning (VBFF15). Ritningar för väggens uppbyggnad representerar på ett bra sätt hur en standardvägg i svenska hus kan se ut. Väggens användes som referensobjekt vid jämförelse i de olika scenarierna.

4.3.1 Uppbyggnad

Uppbyggnaden av typväggen visas av figur 3. Väggen får en total tjocklek på 290 mm exklusivt fasadbeklädnad och luftspalt. För att ge en större och bättre förståelse för de olika komponenterna i väggen, beskrivs deras funktion nedan:

- Fasadbeklädnad: Ytterväggens fasadbeklädnad skyddar byggnaden mot regn och direkt vind.
- Luftspalt: Luftspalten ger möjligheten att ventileras och dränera bort fukt.
- Vindskydd: Vindskyddet ger värmeisoleringen ett skydd mot luft rörelser utifrån.
- Värmeisolering: Värmeisolering mellan stående reglar skapar konstruktionens huvudsakliga värmemotstånd.
- Ångspärr: Ångspärren hindrar att varm och fuktig luft från insidan tar sig ut i isoleringen och vidare till de bärande reglarna. Om den varma luften kommer i kontakt med den kalla luften på andra sidan ångspärren bildas kondens som kan leda till mögel och röta. Ångspärren ger väggen dess huvudsakliga täthet.
- Installationsskikt: Skikt för installationer som skyddar ångspärren från hål och ger väggen ett bättre U-värde. Skiktet har liggande reglar med mellanliggande värmeisolering för ytterligare värmemotstånd.
- Invändigbeklädnad av gips: Gipsskivan skapar ett underlag för lämplig ytbehandling och ger väggytan önskvärda egenskaper. Genom en invändig beklädnad av gips förstärks också väggens täthet ytterligare. (Wallentén, 2020)



Figur 5: Uppbyggnad av typvägg (Wallentén, 2020)

4.4 Fall 2: IsoTimber



Bild 2: Profil av IsoTimbers system. " [Närbild på de isolerande luftkanalerna](#)" by Hans Wardell is licensed under [CC-BY-SA 4.0](#)

Den bärande och isolerande konstruktionen vilket själva produkten IsoTimber utgör skall kompletteras med luftspalt och fasadmateriäl på utsidan, Bild 2 högersida. Insidans ytskikt, Bild 2 vänstersida, bör vara diffusionsöppet då även stommen har denna egenskap, dock är våtrum undantag. Installationsskiktet fästs direkt på stommen och kompletteras med ytskikt. För att utnyttja stommens värmelagringsförmåga till det yttersta påpekar IsoTimber att man bör undvika invändigt ytskikt. (IsoTimber, 2020)

IsoTimber har själva genomfört beräkningar för energieffektivitet i form a U-värdeberäkning som finns tillgänglig på deras hemsida, se Bilaga 1. Densiteten är angiven till 400 kg/m^3 . (IsoTimber, 2020)

Den specifika värmekapaciteten i trä är mellan $1500 - 1700 \text{ J/(kgK)}$ vilket är 50 – 70 procent högre än i betong. IsoTimber hänvisar själva till värdet för trä och har inte tagit fram något för deras produkt. Ju högre värde desto längre fasförskjutning och dämpning av altituden. Vilket är ett mått på hur lång tid det tar för högsta variationen i utetemperaturen att vandra genom väggen och avges till inomhusluften. Detta bidrar till att hålla en jämn temperatur i byggnaden under hela dygnet, vilket i sin tur sparar energi. (IsoTimber, 2020)

Dock är det av större intresse att jämföra den volymetriska värmekapaciteten, dvs densiteten x specifik värmekapacitet, för trä är värdet $0,7 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ medan det för betong är $2,0 \text{ MJ/m}^3\text{K}$. Vilket betyder att betong nästan är tre gånger så bra på att lagra värme jämfört med trä. (Arfvidsson, Harderup, Samuelson, 2017)

Enligt IsoTimber saknas standard för hur man utnyttjar fasförskjutningen vid beräkning av energianvändningen. Detta medför att man endast kan se denna egenskap som en bonus med ökad komfort och energibesparing i driftsfasen, inte som ett sätt att få ner den teoretiska energianvändningen. (IsoTimber, 2020) VIP Energy kan, och har tagit hänsyn till detta i energiberäkningarna, se kapitel 4.1. (Strusoft, 2020)

4.4.1 Väggdimensioner

IsoTimbers väggar består av färdigväggar som kombineras med två eller tre skikt av IsoTimber byggblock. Det finns ett antal standarddimensioner men även fler kombinationer är möjliga så som måttbeställt. Nedan redovisas alla standarddimensioner och deras uppmätta U-värde. (IsoTimber, 2020)

Tabell 5: U-värde IsoTimber

Vägg tjocklek [mm]	U-värde [m^2K]
120	0,63
160	0,43
200	0,35
250	0,29
300	0,24
400	0,18
450	0,16

4.4.2 Fall 2 – Scenario 1 samma tjocklek

Scenario 1 undersökte skillnaden i energianvändning från fall 1 då tjockleken på ytterväggarna var densamma. Typväggens tjocklek var 290 mm och hade ett U-värde på $0,142 \text{ W/m}^2\text{K}$. Väggen med IsoTimber hade tjockleken 300 mm och U-värdet $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.4.3 Fall 2 – Scenario 2 samma U-värde

Scenario 2 undersökte skillnaden i energianvändning från fall 1 då typväggen och IsoTimber-väggen hade samma U-värde. Tjockleken och U-värdet på typväggen var oförändrad. Väggen med IsoTimber hade ett U-värde på $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ och tjockleken 450 mm. Då IsoTimber-väggen var bredare blev A_{temp} mindre. Därför undersöktes två olika scenarios, ett där A_{temp} var oförändrat men grundplatta blev större och ett där A_{temp} blev mindre men grundplatta var oförändrad.

4.4.3.1 Fall 2 – Scenario 2a

Utgick från värdena som angavs i scenario två och tittade på skillnaden i energianvändning från fall 1 då samma A_{temp} användes för de två olika konstruktionerna.

4.4.3.2 Fall 2 – Scenario 2b

Utgick från värdena som angavs i scenario två och tittade på skillnaden i energianvändning från fall 1 då en mindre A_{temp} användes för konstruktionen med Isotimber.

4.4.4 Fall 2 – Scenario 3 uppfylla BBR-krav

Scenario 3 undersöker skillnaden i energianvändning från fall 1 då typväggen och den IsoTimber-väggen med tjocklek som uppfyller BBR-kraven för småhus vars A_{temp} är mellan 90 och 130 kvadratmeter.

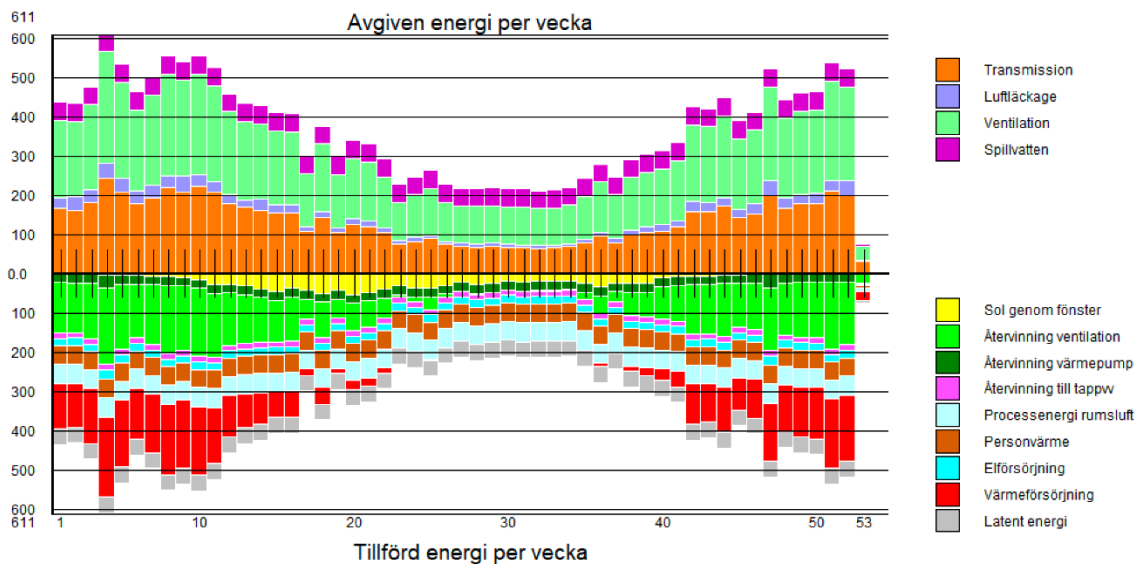
Tabell 6: BBR-krav för småhus vars $90 < A_{temp} < 130 \text{ m}^2$

Parameter	Krav
Energiprestanda, EP_{pet}	$\leq 95 \text{ kWh/m}^2$ och år
Installerad eleffekt för uppvärmning	$\leq 4,5 \text{ kW}$ (uträkning i bilaga 2)
Genomsnittligt värmeövergångstal, U_m	$\leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

5 Resultat och analys

I resultatet redovisas tillförd och avgiven energi för de olika scenarierna i fallstudien.

5.1 Basfallet "kuben"

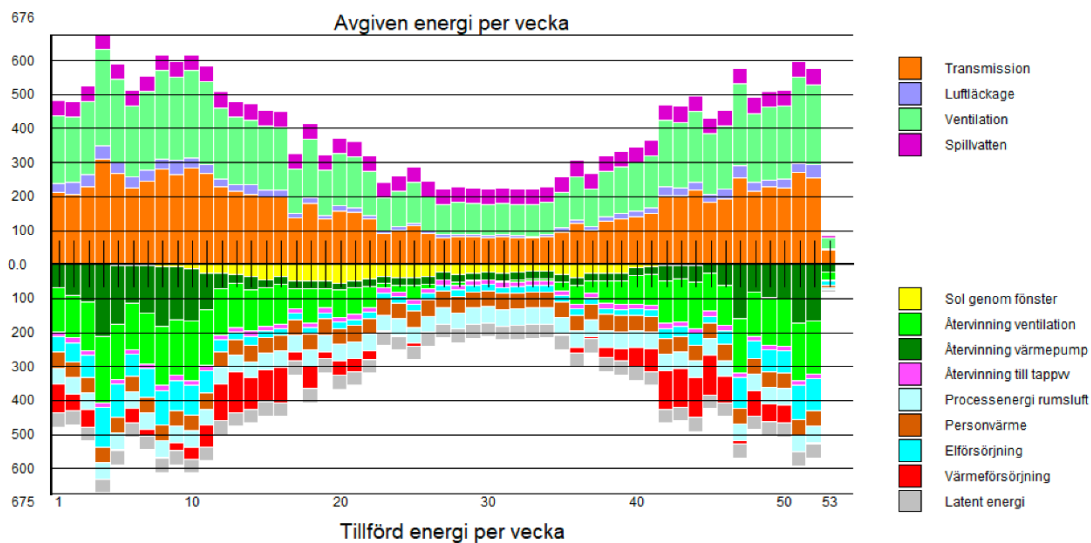


Figur 6: Avgiven och tillförd energi per vecka i basfallet "kuben"

Tabell 7: Resultat VIP beräkning för energibalans, basfallet "kuben"

	[kWh] per år	[kWh/m ²]
Avgiven energi		
Transmission	7 139	59,30
Luftläckage	1 036	8,60
Ventilation	8 900	73,92
Spillvatten	2 405	19,97
Avgiven energi	19 480	161,79
Tillförd energi		
Sol genom fönster	1 089	9,05
Återvinning ventilation	4 688	38,94
Återvinning värmepump	1 187	9,86
Återvinning till tappvarmvatten	721	5,99
Återvinning solfångare	0	0,00
Solel	0	0,00
Processenergi rumsluft	2 531	21,02
Personvärme	2 426	20,15
Elförsörjning	1 001	8,31
Värmeförsörjning	3 726	30,95
Latent energi	2 109	17,52
Tillförd energi	19 480	161,79
Lagrad värme	-1	-0,01
Lagrad latent	-0	-0,00
Avgiven och lagrad energi	19 479	161,79
Tappvarmvatten	1 683	
Övriga parametrar		
Primärenergital	23,5 kWh/m ² och år	
U _m	0,183 W/(m ² K)	
A _{temp}	120,4 m ²	
Vägg tjocklek	290 mm	
Väggens U-värde	0,142 W/(m ² K)	

5.2 Scenario 1 samma tjocklek



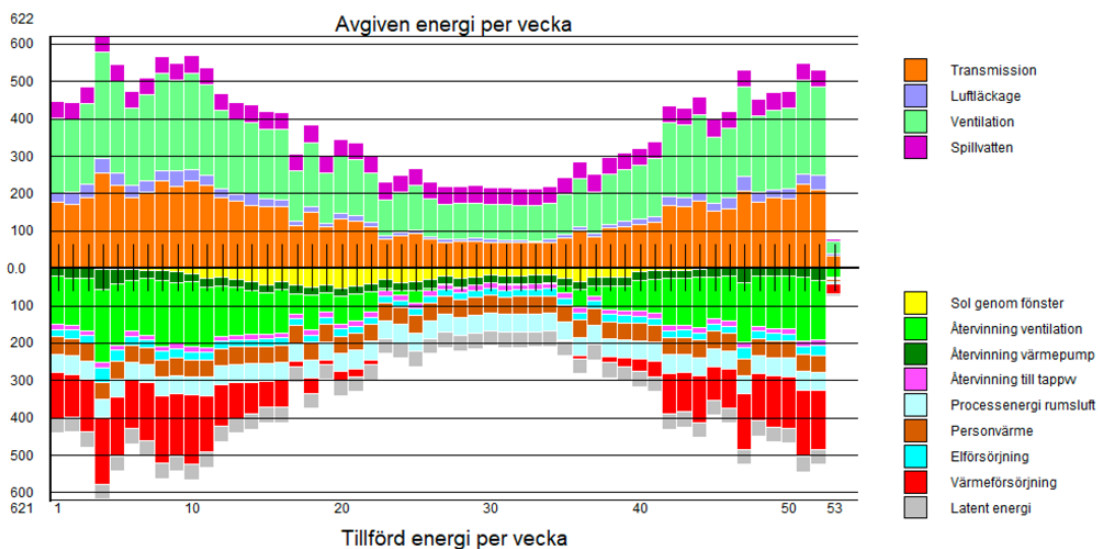
Figur 7: Avgiven och tillförd energi per vecka scenario 1

Tabell 8: Resultat VIP beräkning för energibalans, scenario 1

	[kWh] per år	[kWh/m ²]
Avgiven energi		
Transmission	8 969	74,49
Luftläckage	1 029	8,55
Ventilation	8 843	73,45
Spillvatten	2 405	19,97
Avgiven energi	21 246	176,46
Tillförd energi		
Sol genom fönster	1 177	9,77
Återvinning ventilation	4 868	40,43
Återvinning värmepump	3 233	26,85
Återvinning till tappvarmvatten	721	5,99
Återvinning solfångare	0	0,00
Solel	0	0,00
Processenergi rumsluft	2 531	21,02
Personvärme	2 426	20,15
Elförsörjning	2 098	17,42
Värmeförsörjning	2 081	17,28
Latent energi	2 109	17,52
Tillförd energi	21 244	176,45
Lagrad värme	-2	-0,02
Lagrad latent	-0	-0,00
Avgiven och lagrad energi	21 244	176,44
Övriga parametrar		
Primärenergital	23,8 kWh/m ² och år	
U _m	0,233 W/(m ² K)	
A _{temp}	120,4 m ²	
Vägg tjocklek	300 mm	
Väggens U-värde	0,24 W/(m ² K)	

5.3 Scenario 2 samma U-värde

5.3.1 Scenario 2a, samma A_{temp}

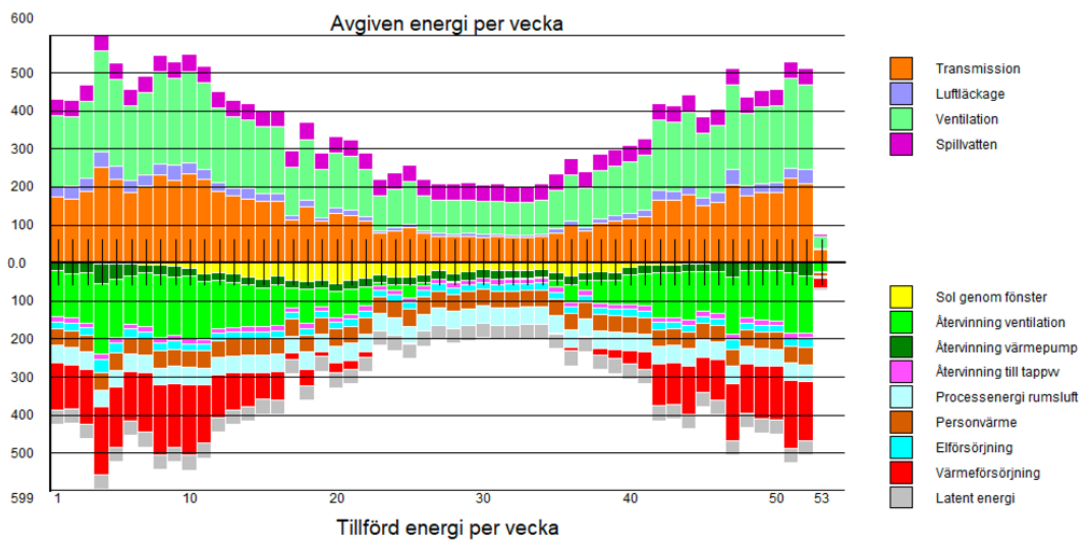


Figur 8: Avgiven och tillförd energi per vecka scenario 2a

Tabell 9: Resultat VIP beräkning för energibalans, scenario 2a

	[kWh] per år	[kWh/m ²]
Avgiven energi		
Transmission	7 456	61,93
Luftläckage	1 033	8,58
Ventilation	8 878	73,74
Spillvatten	2 405	19,97
Avgiven energi	19 772	164,22
Tillförd energi		
Sol genom fönster	1 115	9,26
Återvinning ventilation	4 723	39,23
Återvinning värmepump	1 273	10,57
Återvinning till tappvarmvatten	721	5,99
Återvinning solfångare	0	0,00
Solel	0	0,00
Processenergi rumsluft	2 531	21,02
Personvärme	2 426	20,15
Elförsörjning	1 050	8,72
Värmeförsörjning	3 822	31,74
Latent energi	2 109	17,52
Tillförd energi	19 771	164,21
Lagrad värme	-2	-0,01
Lagrad latent	-0	-0,00
Avgiven och lagrad energi	19 770	164,20
Övriga parametrar		
Primärenergital	23,9 kWh/m ² och år	
U _m	0,192 W/(m ² K)	
A _{temp}	120,4 m ²	
Vägg tjocklek	450mm	
Väggens U-värde	0,16 W/(m ² K)	

5.3.2 Scenario 2b, samma yttermått på plattan

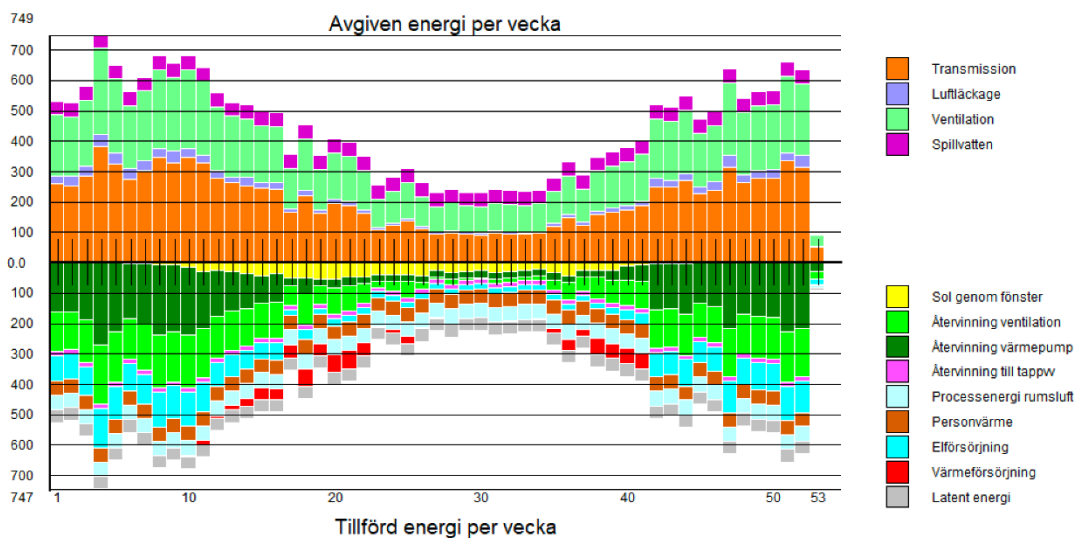


Figur 9: Avgiven och tillförd energi per vecka scenario 2b

Tabell 10: Resultat VIP beräkning för energibalans, scenario 2b

	[kWh] per år	[kWh/m ²]
Avgiven energi		
Transmission	7 375	65,04
Luftläckage	1 018	8,98
Ventilation	8 348	73,62
Spillvatten	2 265	19,97
Avgiven energi	19 006	167,60
Tillförd energi		
Sol genom fönster	1 118	9,86
Återvinning ventilation	4 464	39,36
Återvinning värmepump	1 215	10,72
Återvinning till tappvarmvatten	679	5,99
Återvinning solfångare	0	0,00
Solel	0	0,00
Processenergi rumsluft	2 384	21,02
Personvärme	2 285	20,15
Elförsörjning	998	8,80
Värmeförsörjning	3 875	34,17
Latent energi	1 987	17,52
Tillförd energi	19 004	167,59
Lagrad värme	-2	-0,01
Lagrad latent	-0	-0,00
Avgiven och lagrad energi	19 004	167,59
Övriga parametrar		
Primärenergital	24,8 kWh/m ² och år	
U _m	0,195 W/(m ² K)	
A _{temp}	113,4 m ²	
Vägg tjocklek	450mm	
Väggens U-värde	0,16 W/(m ² K)	

5.4 Scenario 3 uppfyller BBR-krav



Figur 10: Avgiven och tillförd energi per vecka scenario 3

Tabell 11: Resultat VIP beräkning för energibalans, scenario 3

	[kWh] per år	[kWh/m ²]
Avgiven energi		
Transmission	11 029	91,61
Luftläckage	1 026	8,52
Ventilation	8 815	73,22
Spillvatten	2 405	19,97
Avgiven energi	23 276	193,32
Tillförd energi		
Sol genom fönster	1 240	10,30
Återvinning ventilation	5 022	41,71
Återvinning värmepump	5 470	45,43
Återvinning till tappvarmvatten	721	5,99
Återvinning solfångare	0	0,00
Solel	0	0,00
Processenergi rumsluft	2 531	21,02
Personvärme	2 426	20,15
Elförsörjning	2 973	24,69
Värmeförsörjning	780	6,48
Latent energi	2 109	17,52
Tillförd energi	23 273	193,30
Lagrad värme	-3	-0,02
Lagrad latent	-0	-0,00
Avgiven och lagrad energi	23 273	193,30
Övriga parametrar		
Primärenergital	24,1 kWh/m ² och år	
U _m	0,288 W/(m ² K)	
A _{temp}	120,4 m ²	
Vägg tjocklek	200 mm	
Väggens U-värde	0,35 W/(m ² K)	

5.5 Energianalys

Tabell 12: Jämförelse av de olika scenarierna med avseende på olika parametrar

Parameter	Basfall	Scenario 1	Scenario 2a	Scenario 2b	Scenario 3
Avgiven energi	19 480 kWh	21 246 kWh	19 772 kWh	19 006 kWh	23 276 kWh
Primärenergital	23,5 kWh/m ² och år	23,8 kWh/m ² och år	23,9 kWh/m ² och år	24,8 kWh/m ² och år	24,1 kWh/m ² och år
U _m	0,183 W/(m ² K)	0,233 W/(m ² K)	0,192 W/(m ² K)	0,195 W/(m ² K)	0,288 W/(m ² K)
A _{temp}	120,4 m ²	120,4 m ²	120,4 m ²	113,4 m ²	120,4 m ²
Vägg tjocklek	290 mm	300 mm	450mm	450mm	200 mm
Väggens U-värde	0,142 W/(m ² K)	0,24 W/(m ² K)	0,16 W/(m ² K)	0,16 W/(m ² K)	0,35 W/(m ² K)

5.5.1 Scenario 1

Vid jämförelse mellan värdena för basfallet och för de i scenario 1, se Tabell 7 och Tabell 8, framgick det att andel avgiven energi var högre för IsoTimber huset än typhuset. Primärenergitalet var även det lägre för typhuset, detta kopplas till att typhuset hade både ett lägre U_m och U -värde på väggen. Skillnaden mellan de två fallen var endast 0,3 kWh/m² m vilket berodde på att det var samma A_{temp} i de båda fallen.

5.5.2 Scenario 2a

Vid jämförelse mellan värdena för basfallet och för de i scenario 2a, se Tabell 7 och Tabell 9, framgick det att värdena var relativt lika. Den avgivna energin skiljde 0,04 kW för de båda fallen och energiprestandan med primärenergitalet skiljde 0,4 kWh/m² och år, där typhuset hade snäppet bättre värden i samtliga. För U_m skiljde sig värdet 0,009 W/(m²K), vilket även det värdet var en väldigt liten skillnad, fast där typhuset hade det bättre värdet. Väggtjockleken skiljde sig däremot med 160 mm vilket var en betydligt större skillnad som har stor betydelse för byggnadens utformning. Då scenario 2a gick ut på att ha samma U -värde och samma A_{temp} resulterade detta i att IsoTimber huset blev bredare. Dvs att A_{temp} fortsatt är densamma men plattans totala storlek skiljer sig åt.

Varför typhuset har de snäppet bättre värdena i samtliga parametrar kan ha berott på att U -värdet på de olika väggarna skiljde sig en aning. Typhuset hade ett vägg U -värde som var 0,018 W/(m²K) lägre än IsoTimber-väggen, detta eftersom det var det närmaste U -värdet som kunde användas. Denna skillnad i U -värde kan ha betydelse för att typhuset haft de bättre värdena.

5.5.3 Scenario 2b

Skillnaden mellan jämförelsen i scenario 2a och 2b var att i 2b utgick det ifrån att A_{temp} blev mindre när väggarna av IsoTimber blev tjockare. I jämförelsen mellan basfallet och scenario 2b, se Tabell 7 och Tabell 10 skiljde sig värdena lite från tidigare scenario 2a. IsoTimber-väggen fick ett lägre värde på avgiven energi än typhuset då skillnaden blev 0,05 kW. För primärenergitalet och U_m var värdena för typväggen bättre, primärenergitalet skiljde med 1,3 kWh/m² och år och U_m skiljde med 0,012 W/(m²K). Eftersom IsoTimber-väggen var 450mm tjock minskade även A_{temp} , vilket resulterade i att skillnaden i A_{temp} blev 7 m².

5.5.4 Scenario 3

I scenario 3 användes den tunnaste IsoTimber-väggen som uppfyllde BBR:s krav, se Tabell 7 och Tabell 11. Jämförelsen av denna och basfallet visade att skillnaden i avgiven energi var den största som uppmättes. Primärenergitalet var som i de andra jämförelserna relativt lika då basfallet var 0,6 kWh/m² och år lägre. En avsevärd skillnad mellan de jämförda U -värdena kunde avläsas, för IsoTimber-väggen var båda värdena högre. U_m var 0,105 W/(m²K) högre och väggens U -värde var 0,208 W/(m²K) högre. Främsta anledningen bakom den stora skillnaden var väggarnas tjocklek, typhusets vägg var 290 mm medan IsoTimber husets vägg var 200 mm.

5.5.5 IsoTimbers luftspalter

I tabell 2 beskrivs hur man kan tillämpa luftens isoleringsförmåga i luftspalter. Dock har IsoTimber bortsett från detta och i stället utfört sina beräkningar som om väggen består av massivt trä rakt igenom. Detta kan påverka väggens totala U-värde, det borde vara bättre än det de själva har angivit. Då rapportens beräkningar utgår från de U-värden IsoTimber angivit på sin hemsida är det troligt att dessa i praktiken är något bättre än de som använts.

5.6 Miljöanalys

5.6.1 Vägg

Tabell 13 redovisar de ingående komponenterna för den uppreglade väggen i Fall 1.

Tabell 13: Klimatdata för typhusets stommaterial i ytterväggen. A1-A3 är produktskedet, det vill säga från råmaterial till färdig produkt. (Boverket 2021)

Produktnamn	A1-A3 resursens klimatpåverkan	Mängd [per kvm vägg]	Densitet	Vikt	Koldioxid-ekvivalenter
Glasull, skivor och rullar	1,1125 kgCO ₂ e/kg*	28,44 m ³	27,5 kg/m ^{3**}	782,07 kg	870,05 kgCO ₂ e
Glasull, fasadskivor	1,075 kgCO ₂ e/kg*	7,44 m ³	55 kg/m ^{3**}	408,93 kg	439,59 kgCO ₂ e
Skiva av oorganiskt material, Vindskiva	0,3325 kgCO ₂ e/kg*	1,49 m ³	800 kg/m ^{3***}	1189,6 kg	395,54 kgCO ₂
Sågad vara, u 16%, barrträ	0,0863 kgCO ₂ e/kg*	3,86 m ³	400 kg/m ^{3***}	1542,87 kg	133,15 kgCO ₂ e
Plast PE	2,7 kgCO ₂ e/kg****	0,30 m ²	92,6 kg/m ^{3****}	27,54 kg	74,35 kgCO ₂ e
				Summa:	1912,68 kgCO ₂ e

*: Boverket (2021)

** : Isover (2016)

***: Sandin (2016)

****: Byggmax (2021)

*****: Region Stockholm (2020)

Tabell 14 redovisar de ingående komponenterna för IsoTimber-väggen med tjocklek 300 mm.

Tabell 14: Klimatdata för typhusets stommaterial i ytterväggen. A1-A3 är produktskedet, det vill säga från råmaterial till färdig produkt. (Boverket 2021)

Produktnamn	A1-A3 resursens klimatpåverkan*	Mängd [per kvm vägg]	Vikt [per kvm vägg]**	Densitet***	Vikt	Koldioxid-ekvivalenter
Sågad vara, u 16%, barrträ	0,0863 kgCO ₂ e/kg	148,7 m ²	125 kg/m ²		16 803,1 kg	1450,11 kgCO ₂ e
Plywood	0,4475 kgCO ₂ e/kg	3,57 m ³		500 kg/m ³	1784,4 kg	798,52 kgCO ₂ e
					Summa:	2248,63 kgCO ₂ e

*: Boverket (2021)

** : IsoTimber (2020)

***: Sandin (2016)

Tabell 15 redovisar de ingående komponenterna för Fall 2 scenario 2a IsoTimber-väggen med tjocklek 450 mm, se 5.5.2

Tabell 15: Klimatdata för typhusets stommaterial i ytterväggen. A1-A3 är produktskedet, det vill säga från råmaterial till färdig produkt. (Boverket 2021)

Produktnamn	A1-A3 resursens klimatpåverkan*	Mängd [per kvm vägg]	Vikt [per kvm vägg]**	Densitet***	Vikt	Koldioxid-ekvivalenter
Sågad vara, u 16%, barrträ	0,0863 kgCO ₂ e/kg	182,9 m ²	188 kg/m ²		34382,4 kg	2967,2 kgCO ₂ e
Plywood	0,4475 kgCO ₂ e/kg	14,27 m ³		500 kg/m ³	7132,5 kg	3191,8 kgCO ₂ e
					Summa:	6159,0 kgCO ₂ e

*: Boverket (2021)

** : IsoTimber (2020)

***: Sandin (2016)

Tabell 16 redovisar de ingående komponenterna för Fall 2 scenario 2b IsoTimber-väggen med tjocklek 450 mm, se 5.5.3.

Tabell 16: Klimatdata för typhusets stommaterial i ytterväggen. A1-A3 är produktskedet, det vill säga från råmaterial till färdig produkt. (Boverket 2021)

Produktnamn	A1-A3 resursens klimatpåverkan*	Mängd [per kvm vägg]	Vikt [per kvm vägg]**	Densitet***	Vikt	Koldioxid-ekvivalenter
Sågad vara, u 16%, barrträ	0,0863 kgCO ₂ e/kg	176,2 m ²	188 kg/m ²		33128,5 kg	2859,0 kgCO ₂ e
Plywood	0,4475 kgCO ₂ e/kg	13,7 m ³		500 kg/m ³	6872,4 kg	3075,4 kgCO ₂ e
					Summa:	5934,4 kgCO ₂ e

*: Boverket (2021)

** : IsoTimber (2020)

***: Sandin (2016)

Resultatet visade att IsoTimber var mindre miljövänligt än typhuset, dock är det endast sett ur ett produktframställningsperspektiv och tar ej livcykelperspektivet i beaktande. Endast IsoTimber som bärande och isolerande skikt släppte ungefär ut 335 kg koldioxidekvivalenter mer än samma skikt i typhuset. Skillnaden kan jämföras med en flygresa tur- och -retur för en person till Spanien som släpper ut 1 ton koldioxidekvivalenter. (Naturvårdsverket, 2021)

Den främsta anledningen till att väggen av IsoTimber släpper ut mer är att framställningen av plywoodskivor har ungefär 5 gånger så stor miljöpåverkan som övrigt trämaterial i väggarna.

5.6.2 Betongplatta

Tabell 17 presenterar miljöpåverkan på grund av betong. I beräkningar för betongplattan har betong C40/50 använts, då denna är vanligast idag vid gjutning av platta på mark till hus. I Tabell 18 gjordes samma beräkningar för platta på mark fast med en klimatförbättrad betong C40/50. I den klimatförbättrade betongen ersätts en del av cementet med alternativa bindemedel. Miljödatan för de cement som använts bygger på EPDer för cementsorter som är vanligt förekommande på den svenska marknaden. (Boverket, 2021)

Tabell 17: Klimatdata för typhusets platta på mark. A1-A3 är produktskedet, det vill säga från råmaterial till färdig produkt. (Boverket 2021). Densitet för betong är 2300 kg/m³ (Sandin, 2016)

Produktnamn	A1-A3 resursens klimatpåverkan*	Mängd	Vikt	Koldioxid-ekvivalenter
Fabriksbetong, husbyggnad C40/50. Typhus	0,1755 kgCO ₂ e/kg	7,111 m ³	16 355,3 kg	2870,355 kgCO ₂ e
Fabriksbetong, husbyggnad C40/50. scenario 2a	0,1755 kgCO ₂ e/kg	7,662 m ³	17 622,6 kg	3092,766 kgCO ₂ e
Fabriksbetong, husbyggnad C40/50. scenario 2b	0,1755 kgCO ₂ e/kg	7,111 m ³	16 355,3 kg	2870,355 kgCO ₂ e

*: Boverket (2021)

Tabell 18: Klimatdata för typhusets platta på mark med klimatförbättrad betong. A1-A3 är produktskedet, det vill säga från råmaterial till färdig produkt. (Boverket 2021) Densitet för betong är 2300 kg/m³ (Sandin, 2016).

Produktnamn	A1-A3 resursens klimatpåverkan*	Mängd	Vikt	Koldioxid-ekvivalenter
Fabriksbetong, husbyggnad klimatförbättrad C40/50. Typhus	0,1316 kgCO ₂ e/kg	7,111 m ³	16 355,3 kg	2152,357 kgCO ₂ e
Fabriksbetong, husbyggnad klimatförbättrad C40/50. scenario 2a	0,1316 kgCO ₂ e/kg	7,662 m ³	17 622,6 kg	2319,134 kgCO ₂ e
Fabriksbetong, husbyggnad klimatförbättrad C40/50. scenario 2b	0,1316 kgCO ₂ e/kg	7,111 m ³	16 355,3 kg	2152,357 kgCO ₂ e

*: Boverket (2021)

Resultatet från Tabell 17 visade att mellan typhuset och scenario 2a skiljde det 222 kg koldioxidekvivalenter, där scenario 2a hade det högre värdet. Mellan typhuset och scenario 2b blev resultatet samma då betongplattan blev lika stor men A_{temp} blev mindre i scenario 2b.

Vid jämförelse mellan typhuset för standardbetong och klimatförbättrad betong släppte standard betongen ut 718 kg koldioxidekvivalenter mer än den klimatförbättrade vid samma mängd, se Tabell 17 och Tabell 18. För samma jämförelse mellan scenario 2a blev skillnaden 774 kg koldioxidekvivalenter.

Tabell 19 redovisar en jämförelse av den sammanlagda skillnaden i koldioxidekvivalenter mellan Fall 1, Fall 2 scenario 2a och Fall 2 scenario 2b med samma A_{temp} dock skiljer sig plattans totala storlek åt, och med två olika typer av betong.

Tabell 19: Jämförelse av det sammanlagda värdet av koldioxidekvivalenter för Fall 1, Fall 2 scenario 2a och 2b.

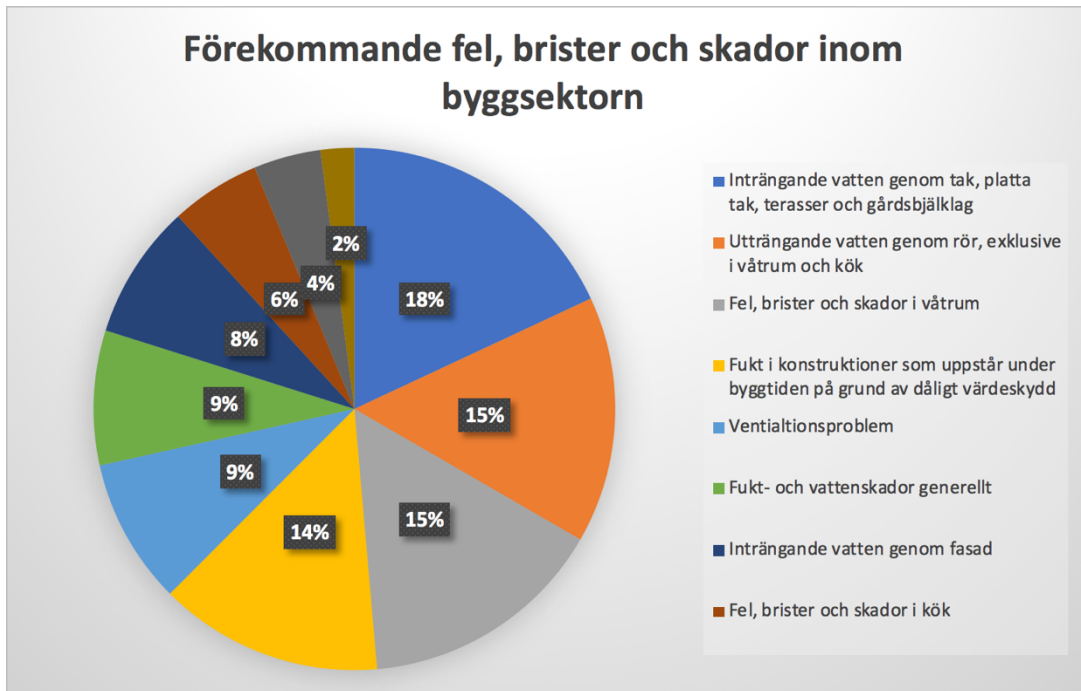
Fall	Betong	Vägg	Koldioxid-ekvivalenter	Betong mängd	Koldioxid-ekvivalenter/A _{temp}
Fall 1	Betong C40/50	Typvägg	4783,04 kgCO _{2e}	7,111 m ³	39,73 kgCO _{2e} /m ²
Fall 1	Klimatförbättrad betong	Typvägg	4065,04 kgCO _{2e}	7,111 m ³	33,76 kgCO _{2e} /m ²
Fall 2 scenario 2a	Betong C40/50	IsoTimber 450 mm	9251,77 kgCO _{2e}	7,662 m ³	76,84 kgCO _{2e} /m ²
Fall 2 scenario 2a	Klimatförbättrad betong	IsoTimber 450 mm	8478,14 kgCO _{2e}	7,662 m ³	70,42 kgCO _{2e} /m ²
Fall 2 scenario 2b	Betong C40/50	IsoTimber 450 mm	8804,74 kgCO _{2e}	7,111 m ³	73,13 kgCO _{2e} /m ²
Fall 2 scenario 2b	Klimatförbättrad betong	IsoTimber 450 mm	8086,74 kgCO _{2e}	7,111 m ³	67,17 kgCO _{2e} /m ²

5.7 Fuktanalys

I fuktanalysen antogs det att ByggaF tagits i akt under hela processen för att minimera och identifiera risker och skador kopplade till fukt.

5.7.1 Risker och konsekvenser

Genom en kartläggning av fel, skador och brister inom byggsektorn har Persson och Thuresson (2007) kommit fram till att 85 procent av de skador som sker är kopplade till fukt. Där inträngande vatten genom fasad står för 8 procent och fukt i konstruktioner som uppstår under byggtiden på grund av dåligt väderskydd står för 14 procent, se Figur 11.)



Figur 11: Andelen förekommande fel, brister och skador inom byggsektorn för olika områden. Datakälla: (Persson, Thuresson, 2007)

Fukt i konstruktionen till följd av dåligt väderskydd under byggtiden medför en rad risker. Fukt från nederbörd så som regn och snö kan bli stående på betongplattan där det enda som hindrar att syllan kommer i direktkontakt med detta är en tunn syllisolerings. Om nederbörden är kraftig är risken stor att vattennivån blir högre än syllisolerings och att både syllens och de bärande reglarnas ändträ kommer i direktkontakt med vattnet. Den fukt som kapillärt sugns in i virkets ändträ måste torkas ut innan den diffusionstäta plastfolien monteras. Överses detta steg kan konsekvenserna bli att fukten stängs in i den bärande konstruktionen utan möjlighet att torka ut. Detta gör att risken för framtida mögelpåväxt ökar markant. (Persson, Thuresson, 2007)

Behövs det bytas ut en del av ytterväggens bärande konstruktion för att åtgärda en fuktskada finns det en risk att perforera den diffusionstäta plasten. Att använda verktyg, elektriska eller manuella, medför en ökad risk att plasten punkteras. Skulle det uppstå ett eller flera hål i plasten måste dessa förslutas oavsett hur små de är för att klimatskalet fortsatt skall vara lufttätt. Vilket kan vara svårt att uppnå till 100 procent då de allra minsta hålen är lätta att missa.

Fördelen med IsoTimber är att huset blir vädertätt avsevärt mycket snabbare än vid byggnation av typhuset utan någon form av väderskydd. Enligt Janina Östling, IsoTimber, kan man enkelt lösa en uppfuktning under byggskedet med IsoTimber genom att borra hål i konstruktionen för att blåsa luft genom. På så sätt torkas konstruktionen snabbt ur. Vid en vattenläcka kan den fuktskadade sektionen sågas ut och enkelt bytas ut mot en ny. Fler fördelarna med IsoTimber är träets fuktbufferande egenskaper, vilket betyder att materialet vid höga fukthalter kan ta upp en stor del av fukten för att vid en

lägre fukthalt åter uppstått släppa ifrån sig den lagrade fukten. Detta medför att differensen i luftfuktigheten utomhus inte påverkar den inomhus i lika stor grad som i typhuset. (Östling, 2018)

5.7.2 Transport

Vid transporter av byggnadsmaterial från fabrik till byggarbetsplats finns risken att byggnadsmaterialet exponeras för fukt. Om så är fallet, ökar materialets fukttillstånd och fukthalt vilket kan leda till att material inte kan monteras in i konstruktionen eller att det blir fördröjningar för att det ska hinna torka. Därför är det viktigt att vid leverans noggrant kontrollera materialens fukthalt, om dessa inte uppnås ska material skickas tillbaka till fabrik och ersättas med nytt material som klarar kravnivån på fukthalten. Detta kan ge stora konsekvenser då både tid och pengar går förlorade, vilket kan dra ut på byggtiden. (Persson, Thuresson, 2007) En längre byggtid ökar risken för att bygget utsätts för nederbörd.

Materialleveranslogistiken är en viktig del i byggprocessen med avseende på tid, pengar och fuktproblem. (Persson, Thuresson, 2007)

IsoTimbers koncept är att leveranser ska ske enligt just-in-time principen, det vill säga att sträva efter att producera och leverera byggelementen precis i den mängd och vid rätt tidpunkt som de behövs på arbetsplatsen. Detta för att uppnå ett snabbt montage och för att undvika lagerhållning på byggarbetsplats. Leveransplanen är en viktig del för IsoTimber och tas fram i samband med projekteringen för att detta ska ske så smidigt som möjligt. (IsoTimber, 2020)

När IsoTimber-väggarna är färdiga i fabriken lastas de oftast på en stängd lastbil inomhus i fabriken. De försöker att undvika att plasta in väggblocken för att minimera användningen av plast för miljöns skull. Men om inplastning önskas av entreprenören kan de göra det. Väggblocken klarar montage i lättare regn men ska inte lämnas oskyddade under en längre period då detta kan skada konstruktionen. (IsoTimber, 2020)

5.7.3 Förvaring och montage

Förvaring av byggnadsmaterial på byggarbetsplatsen ska minimeras så mycket det går. Detta eftersom förvaringen är en kritisk punkt i materialets liv som kan få stora konsekvenser om det inte sker på rätt sätt. Lagring av byggnadsmaterial på arbetsplatsen tar mycket plats och det kan även bli skadat eller utsatt för fukt. För att byggnadsmaterialet ska förvaras på rätt sätt ska det förvaras inomhus eller under tak i största möjliga utsträckning, om detta ej är möjligt ska byggnadsmaterialet täckas över med en hel och ren presenning och även möjliggöra ventilation runt byggnadsmaterialet. Men i det flesta fall görs detta felaktigt och byggnadsmaterialet hanteras fel vilket leder till skador som får konsekvenser. (Persson, Thuresson, 2007)

Konsekvenserna av att ett material förvaras felaktigt utomhus kan vara att det utsätts för fukt i form av regn eller snö vilket leder till att fukttillståndet i material ökar. Om det skulle stiga så mycket så att materialets kritiska fukttillstånd uppnås kan det ta skada.

Vad för sorts skada det blir beror på materialets egenskaper, men för trä och organiska material kan det bildas angrepp av mögel och röta. (Persson, Thuresson, 2007)

IsoTimber ansvarar endast för transporten. Avlastning och eventuellt väderskydd på byggarbetsplatsen står entreprenören för. Montering ska ske av snickare, det krävs ingen speciell utbildning. En genomgång av projektet hålls alltid mellan IsoTimber och entreprenören. Paketet med väggsektionerna ska ställas på ett plant och torrt underlag och monteringsritningarna ska följas för varje projekt. (IsoTimber, 2020) Utöver detta finns det inga anvisningar för hur en fuktsäker montering ska utföras.

Detta ger IsoTimber möjlighet att avsäga sig ansvaret för fuktproblem t.ex. påväxt som uppkommer snabbt efter montering. Då man inte kan bevisa när produkten utsattes för fukten. Skulle inte anvisningarna vid avlastning följas utan väggpaketen placeras på en uppfuktad yta ökar risken för att fukten byggs in vid montering. Entreprenören blir i så fall ensam ansvarig för att reparera skadan och dess kostnader.

5.8 Jämförelse med tidigare studie om IsoTimber

5.8.1 Sammanfattning

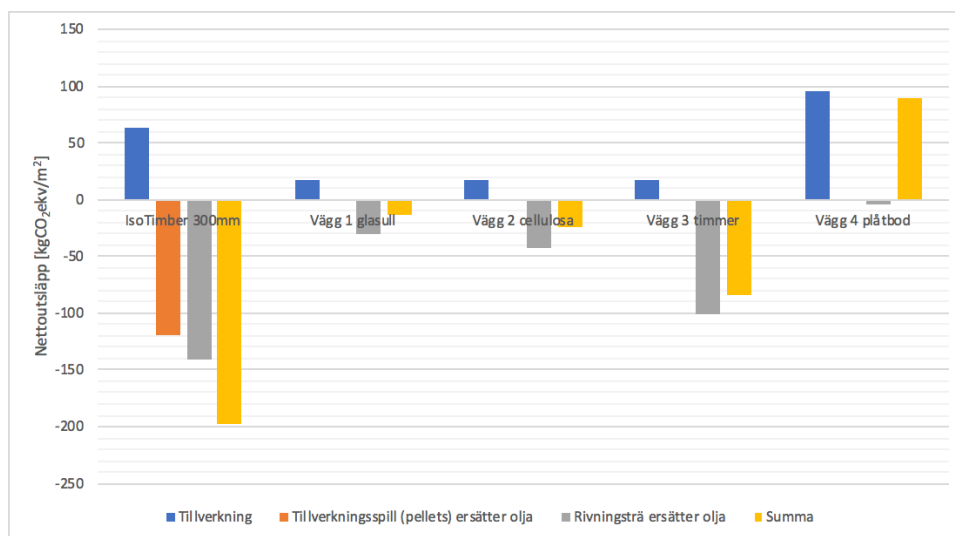
IsoTimber med tjocklek 100, 200 och 300 mm jämfördes med uppreglade väggkonstruktioner med glasull och cellulosaisolering samt en 8 tums timmerstomme med olika grad av tilläggsisolering. Då byggblocken staplas på varande jämfördes även konstruktionen av IsoTimber med flyttbara kontors- och boendemoduler. Miljöprestandan för konstruktionen av IsoTimber jämfördes mot en kontorsmodul bestående av metallbalkar, plåt och isolering av polyuretan och glasull. (Östberg, 2012)

Östberg lade i rapportens LCA fokus på klimatutsläppen från råvaruuttagning, transporter, tillverkning och återvinning av byggnadsmaterial vid rivning av huset. Endast jämförelse mellan väggsektioner gjordes och inte hela hus. Väggsektionerna skulle ge likvärdiga isoleringsförmågor och energiåtgång och miljöbelastning bortsågs därför från användningsfasen. (Östberg, 2012)

De aspekter som framförallt påverkar miljöbelastningen för de olika väggkonstruktionerna är:

1. Klimatpåverkan från råvaruuttag, transporter och tillverkning av ingående material.
2. Konstruktionens innehåll av träråvara.
3. Hur konstruktionens trämaterial kan användas som biobränsle och ersätta fossila bränslen.
4. Om träråvaran kommer från ett hållbart skogsbruk. (Östberg, 2012, s.19)

5.8.2 Jämförelse (med tidigare studier)



Figur 12: Koldioxidbalans per m² väggyta för IsoTimber, uppreglad vägg med glasull, uppreglad vägg med cellulosa, timmervägg och färdig kontorsmodul i plåt. Datakälla: (Östberg, 2012)

Östberg kom i sin rapport fram till att IsoTimber jämfört med träbaserade väggkonstruktioner (vägg1-3) har cirka tre gånger så högt koldioxidutsläpp från tillverkningen, se Figur 12. Orsaken kan härledas till två saker, råvaruutgång och plywoodskivor. Vidare berättade han om att plywoodskivor har en större klimatpåverkan från tillverkningsfasen, cirka 7 gånger högre jämfört med övrigt trämaterial. 60 - 77% av IsoTimbers totala klimatpåverkan från tillverkningsfasen kommer från plywoodskivor.

I vår jämförelse fick vi fram att plywoodskivorna hade 5 gånger så hög klimatpåverkan än det övriga trämaterialiet. Men vi drog samma slutsatser som Östberg.

Råvaran av IsoTimber är 2x4 tums plankor, vilket har samma klimatbelastning per kilo som regelverket i de träbaserade väggkonstruktionerna är uppbyggda med. Men det som skiljer är den totala vikten av det trämaterial som används för IsoTimber vilket är cirka två till fyra gånger mer än väggen med träreglar och isolering.

Då vi i detta examensarbete tittat på hela väggarean och inte en begränsad area på 2,5x4 m² som Östberg blev differensen av den totala vikten ungefär 11 gånger så stor för IsoTimber som träreglar och isolering.

IsoTimbers höga utsläpp kompenseras med minskade utsläpp av fossila bränslen när trämaterial från spill och rivning används som biobränsle och ersätter fossila bränslen (eldningsolja i detta fall). Spill görs till pellets. Dock tillgodoräknas inte detta i

livscykelanalysen då effekten av trä som kolsänka inte är vanlig förekommande i en sådan analys och att det inte finns någon koncensus om hur man ska gå tillväga.

I Östbergs rapport ingår även en kemikaliebedömning men detta är inget vi har fördjupat oss i då det inte ryms inom ramen för vårt examensarbete.

6 Slutsatser

Målet med rapporten var att granska och redovisa de skillnader och eventuella brister som finns med IsoTimber med hänsyn till energieffektivitet och fuktsäkerhet. Jämförelserna utgick från två väggtyper med arbetsnamnen "typvägg" och "IsoTimber" och undersökts med hänsyn på fuktsäkerhet, energieffektivitet och miljö. För att kunna jämföra olika bakomliggande faktorer så har olika scenarier utformats. "Basfallet kuban" vilket var den uppreglade väggen, "scenario 1" samma väggjocklek som basfallet, "scenario 2a" samma U-värde och A_{temp} som basfallet, "scenario 2b" samma U-värde och mindre A_{temp} än basfallet, "scenario 3" IsoTimber - väggen uppfyller BBR-krav. Examensarbetet har inte tagit ställning till vilken lösning som är bäst utan endast tagit fram värden för de olika scenarierna.

6.1 Energi

I Tabell 20 - Tabell 24 finns sammanfattande värden för basfallet och de olika scenarierna.

Tabell 20: Resultat VIP beräkning basfallet "kuban"

Parameter	Värde
Avgiven energi	19 480 kWh
Primärenergital	23,5 kWh/m ² och år
U_m	0,183 W/(m ² K)
A_{temp}	120,4 m ²
Väggjocklek	290 mm
Väggens U-värde	0,142 W/(m ² K)

Tabell 21: Resultat VIP beräkning scenario 1

Parameter	Värde
Avgiven energi	21 246 kWh
Primärenergital	23,8 kWh/m ² och år
U_m	0,233 W/(m ² K)
A_{temp}	120,4 m ²
Väggjocklek	300 mm
Väggens U-värde	0,24 W/(m ² K)

Tabell 22: Resultat VIP beräkning scenario 2a

Parameter	Värde
Avgiven energi	19 772 kWh
Primärenergital	23,9 kWh/m ² och år
U_m	0,192 W/(m ² K)
A_{temp}	120,4 m ²
Väggjocklek	450mm
Väggens U-värde	0,16 W/(m ² K)

Tabell 23: Resultat VIP beräkning scenario 2b

Parameter	Värde
Avgiven energi	19 006 kWh
Primärenergital	24,8 kWh/m ² och år
U _m	0,195 W/(m ² K)
A _{temp}	113,4 m ²
Vägg tjocklek	450mm
Väggens U-värde	0,16 W/(m ² K)

Tabell 24: Resultat VIP beräkning scenario 3

Parameter	Värde
Avgiven energi	23 276 kWh
Primärenergital	24,1 kWh/m ² och år
U _m	0,288 W/(m ² K)
A _{temp}	120,4 m ²
Vägg tjocklek	200 mm
Väggens U-värde	0,35 W/(m ² K)

I samtliga scenarion var primärenergitalet U_m och väggens U-värde högre för IsoTimber än det för basfallet. Angiven energi var i scenario 1, 2a och 3 högre än basfallet, medan det för scenario 2b var lägre. Slutsatsen av energianalysen blev därför att typhuset blev mer energieffektivt än IsoTimber.

6.2 Fukt

Jämförelse av för- och nackdelar för de två väggtyperna, IsoTimber och uppreglade väggar, visade att den främsta fördelen med IsoTimber är att den snabbt blir vädertätt. Dock kan detta även uppnås för en uppreglad vägg om stommen väderskyddas efter resning eller om man bygger väggsektioner på plats i ett väderskydd och sedan lyfter dem på plats. I övrigt är det ett fuktkänsligt byggnadsmaterial precis som stomvirket i en uppreglad vägg där de kritiska momenten är transport, hantering och lagring på byggarbetsplatsen.

6.3 Miljö

Resultatet visade att IsoTimber genererade mer koldioxidekvivalenter än typhuset sett under produktskedet. Vidare undersöktes betydelsen av vilken betong som användes vid gjutning av plattan och även plattans storlek. Storleken på plattan blev störst för "scenario 2a" vilket visade att utsläppen av koldioxidekvivalenter blev större om samma A_{temp} och U-värde som typhuset skulle uppnås. Om den totala arean av plattan bibehålls med minskad A_{temp} som i "scenario 2b" resulterade det i samma mängd utsläppta koldioxidekvivalenter som för typhuset.

Sammanfattningsvis visade rapporten att IsoTimber under produktskedet för de studerade fallen genererar mer koldioxidekvivalenter än basfallet. Vid jämförelse av

både platta och vägg för Fall 1 och Fall 2 scenario 2a visade det att det totala utsläppet av koldioxidekvivalenter var nästan dubbelt så stort för Fall 2 scenario 2a både vid användning av den vanliga betongen och med den klimatförbättrade. Den främsta anledningen till detta är att väggsektionen IsoTimber 450 mm består av sex skivor plywood vilket är den komponent som har en av det största utsläppet av koldioxidekvivalenter. Slutsatsen att plywooden är den främsta faktorn till de högre utsläppen stärks då även Fall 2 scenario 2b har ett högre värden än Fall 1, då dessa två fallen har samma storlek på plattan.

7 Framtida utvecklingsmöjligheter

I fortsatta studier hade det varit intressant att undersöka påverkan av köldbryggor och fuktkänsliga möten såsom tak - vägg och platta - vägg. Vidare kan det vara intressant att göra mer utförlig undersökning av hela livscykeln och inte bara produktskedet (A1-A3). Även att titta på möjligheten att byta ut plywooden mot miljövänligare alternativ.

Referenser

Böcker

Arfvidsson, J; Harderup, L.E; Samuelson, I (2017), *Fukthandbok*, AB Svensk Byggtjänst, Halmstad

Burström, P.G (2006). *Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 1:2. Lund: Studentlitteratur AB.

Gillberg, B; Fagerlund, G; Jönsson, Å och Tillman, A.M (1999). *Betong och miljö - fakta från betongforum*. AB Svensk Byggtjänst.

Sandin, K (2016). *Praktisk byggnadsfysik*. 1:7. Lund: Studentlitteratur AB.

Sikander, E och Freiholtz, G (2000). *Fuktsäkerhet - en viktig del i byggnadens totala miljöpåverkan*. 2000:8. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Energiteknik/Byggnadsfysik. Borås.

Rapporter

Boverket (2018). *Kartläggning av fel, brister och skador inom byggsektorn*.
<https://www.byggombud.se/files/Kartl%C3%A4ggning-av-fel-brister-och-skador-inom-byggsektorn.pdf> (Hämtad 2021-03-18)

Boverket (2016). *Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd*.
https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf (Hämtad 2021-02-18)

ByggaF (2013). *Branschstandard ByggaF metod för fuktsäker byggprocess*.
http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/ByggaF_Branschstandard/1_ByggaF_branschstandard.pdf

IsoTimber (2020). *IsoTimber stomsystem Teknikhandbok*. Östersund: IsoTimber Holding AB.
https://isotimber.se/pdfs/INFO-012-02_IsoTimber-stomsystem-Teknikhandbok.pdf
(Hämtad 2021-01-20)

Liljenström, C.; Malmqvist, T.; Erlandsson, M.; Fredén, J.; Adolfsson, I.; Larsson, G. och Brogren, M. (2015). *Byggandets klimatpåverkan Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong*. SBUF: 12912.
<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/2682affe-8824-401e-82b5-c3c05842f2af/FinalReport/SBUF%2012912%20Slutrapport%20Byggandets%20klimatp%C3%A5verkan.pdf> (Hämtad 2021-03-03) s. 39

Persson, F och Thuresson, H (2007). *Fuktproblematiken under entreprenadskedet*. <http://kau.diva-portal.org/smash/get/diva2:4961/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2021-03-18)

Region Stockholm (2020). *Klimatpåverkan från livscykeln av polyetenbaserade engångsprodukter - En jämförelse av tre likvärdiga engångsprodukter baserade på polyeten från olika råvaror; fossil, sockerrör och returplast*. Regionskontoret Hållbarhet RS 2019-0677. <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/plast/Klimatp%C3%A5verkan%20fr%C3%A5n%20livscykeln%20av%20polyeten-baserade%20eng%C3%A5ngsprodukter%202020.pdf> (Hämtad 2021-03-30)

Sandqvist, A (2019). *Byggbranschen måste också plastbanta - En fallstudie om plaster i dagens byggande och dess hälso- och miljöpåverkan*. <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1296877/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2021-03-03)

SiS (2017). *Byggkomponenter och byggdelar - Värmemotstånd och värmeövergångskoefficient - Beräkningsmetod (ISO 6946:2017)*.

Stockholms stad (2019). *Stockholms stads Handlingsplan för minskad spridning av mikroplast 2020-2024* <http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/plast/hp-mikroplast-beslutad-kf-20200127.pdf> (Hämtad 2021-03-03) s. 35

Sveby (2012). *Brukarindata bostäder, Svebyprogrammet version 1.0*. Stockholm: Sveby. http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby_Brukarindata_bostader_version_1.0.pdf (Hämtad 2021-02-24)

Östberg, T (2012). *Miljöbedömning IsoTimber väggsystem - Referensmiljöer för framtidens produkter*. Östersund: JEGRELIUS - Institutet för tillämpad grön kemi. <https://isotimber.se/pdfs/miljobedomning.pdf> (Hämtad 2021-03-22)

Webbsidor

Boverket (2021). *Boverkets klimatdatabas*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/klimatdeklaration/klimatdatabas/> (Hämtad 2021-03-16)

Boverket (2021). *Bygg- och fastighetssektorns uppkomna mängder av avfall*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/avfall/> (Hämtad 2021-03-08)

Boverket (2021). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn.*

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>

(Hämtad 2021-03-08)

Boverket (2020). *Energihushållning.* <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/energihushallning/>

(Hämtad 2021-03-03).

Boverket (2017). *Fuktsäkerhet.* <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/>

(Hämtad 2021-02-24).

Boverket (2017). *Lufttäthet och fukt.* <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/lufttathet-och-fukt/>

(Hämtad 2021-02-24).

Byggmax (2021). *Åldersbeständig byggfolie.*

https://www.byggmax.se/%C3%A5ldersbest%C3%A4ndig-byggfolie-p21022?gclid=Cj0KCQjw0caCBhCIARIsAGAfuMyuV6iDnMDZVaiAaSHIN2-5O718ZlcPA1RMa5hlhexRUqJlh9yydgaAkGrEALw_wcB#267=33208

(Hämtad 2021-03-30)

IsoTimber (2020). "Start" <https://isotimber.se/> (Hämtad 2021-02-20)

IsoTimber (2020). "Stomsystem" <https://isotimber.se/stomsystem/> (Hämtad 2021-02-20)

Isover Saint-Gobain (2021). *ISOVER UNI-skiva* 33.

<https://www.isover.se/products/isover-uni-skiva-33> (Hämtad 2021-02-02)

Nationalencyklopedin (2021). *Energieffektivitet* <https://www-ne-se.ludwig.lub.lu.se/upplagsverk/encyklopedi/10%C3%A5ng/energieffektivitet> (Hämtad 2021-04-19)

Naturvårdsverket (2020). *Flygets klimatpåverkan.* Senast ändrad 6 april 2021

<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Flygets-klimatpaverkan/> (Hämtad 2021-03-10)

Naturvårdsverket (2020). *Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan.* Senast ändrad 3 december 2020

<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Bygg-och-fastighetssektorns-klimatpaverkan/>

(Hämtad 2021-03-08)

Naturvårdsverket (2020). *Energieffektivisering i bostäder och lokaler.* Senast ändrad 24 augusti 2020. <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallat/Miljoarbete-i->

[Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Energieffektivisering/Bostader-och-lokaler/](#)
(Hämtad 2021-04-19)

Naturvårdsverket (2018). *Avfallsmängder i Sverige*. Senast ändrad 15 juni 2020
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Avfallsmangder/>
(Hämtad 2021-03-03)

SMHI (2019). *Jordens huvudklimattyper*.
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/jordens-klimat> (Hämtad 2021-04-12)

StruSoft, (2021). *VIP-Energy*. <https://strusoft.com/products/vip-energy> (Hämtad 2021-03-08)

Strusoft (2020). *VIP-Energy Manual Version 4 Svensk*.
<https://www.vipenergy.net/Manual.htm> (Hämtad 2021-04-26)

Svenskt Trä (2020). *Bygg klimatsmart*
<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/varfor-tra/bygg-klimatsmart/>
(Hämtad 2021-03-03)

Svensk Trä (2021). *Träets fuktrörelser*. <https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/tra-och-fukt/traets-fuktrorelser/> (Hämtad 2021-04-26)

Träguiden, (2017). *Fuktransport och fuktupptagning*. <https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/fukt/fukt/fukttransport-och-fuktupptagning/> (Hämtad 2021-03-01).

Träguiden (2015). *Tillverkning av träprodukter*.
<https://www.traguiden.se/om-tra/miljo/miljoeffekter/miljoeffekter/tillverkning-av-traprodukter/?previousState=1> (Hämtad 2021-04-14)

Bilder och figurer

Beyer, G.; Defays, M.; Fischer, M.; Fletcher, J.; de Munck, E.; de Jaeger, F.; Van Riet, C.; Vandeweghe, K. och Wijnendaele, K. (2020) *Tackla klimatförändringen: Använd trä*. Wood in sustainable development, www.cei-bois.org

ByggaF (2013). *Branschstandard ByggaF metod för fuktsäker byggprocess*.
http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/ByggaF_Branschstandard/1_ByggaF_branschstandard.pdf

IsoTimber på mossen. (2017). *IsoTimber i genomskärning där man ser isolerande luftkanaler*. Licens CC-BY-SA 4.0.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Isotimber_genomsk%C3%A4rning_luftkanaler.jpg
(Hämtad 2021-04-07)

Profil av IsoTimbers system. (2017). *Närbild på de isolerande luftkanalerna*. Hans Wardell. Licens CC-BY-SA 4.0.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:N%C3%A4rbild_p%C3%A5_IsoTimber.jpg
(Hämtad 2021-04-07)

Wallentén P. (2020), Föreläsning om “Introduktion VBFF15 Lp4 Projektet Kuben 2020v2” inom kursen VBFF15, Campus Helsingborg, (Hämtad 2021-04-14)

Personer

Wallentén P. (2020), Föreläsning om “Introduktion VBFF15 Lp4 Projektet Kuben 2020v2” inom kursen VBFF15, Campus Helsingborg, (Hämtad 2021-04-14)

Videor

Östling J, (2018). *Janina Östling (styrelseordförande) - IsoTimber*, 05:07.
https://www.youtube.com/watch?v=QVvJeECecaw&t=395s&ab_channel=IsoTimberHoldingAB%28publ%29 (Hämtad 2021-04-19)

Bilagor

Bilaga 1



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium

Handläggare, enhet

Bertil Jonsson

Energiteknik

010-516 51 60, bertil.jonsson@sp.se

Datum

2010-10-28

Beteckning

PX07203

Sida

1 (1)



Hipe Innovation AB

Kluk 1724

835 93 ALSÉN

Bestämning av värmegenomgångskoefficient (U-värde) enligt EN ISO 8990

(3 bilagor)

Provföremål

Provföremålet var en träväggkonstruktion med slitsade stockar, Isotimber, tjocklek ca 10 cm. De utvändiga dimensionerna var ca 1165 mm x 1145 mm (se bilaga 3).

Provföremålet som uttogs av beställaren ankom oskadat till SP, ETi den 22 oktober 2010.

Provningsprocedur

Provföremålet placerades vid den varma sidan i en 150 mm tjock skiljevägg gjord av expanderad polystyren (EPS). Luftströmningen på den varma och kalla sidan var naturlig konvektion respektive påtvingad konvektion genom fläktar, se bilaga 1.

Resultat

Värmegenomgångskoefficienten (U-värdet) för dimension 1165 x 1145 mm erhöles till

$$U = 0,67 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

De uppmätta resultaten som endast avser provade produkter redovisas i detalj i bilaga 2.

Kommentar

Med samma modul, som är provad, kan väggar byggas upp som är 20 cm och 30 cm tjocka. U-värdet för dessa väggar blir 0,35 W/(m²K) och 0,24 W/(m²K) för 2 moduler (20 cm) respektive 3 moduler (30 cm).

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut Energiteknik - Byggnadsfysik och inommiljö


Bertil Jonsson
Uppdraget utfört av

Bilagor

1. Mätutförande
2. Resultat
3. Ritningar

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Postadress

SP

Box 857

501 15 BORÅS

Besöksadress

Västeråsen

Brinellgatan 4

Borås

Titel / Fax / E-post

010-516 50 00

033-13 55 02

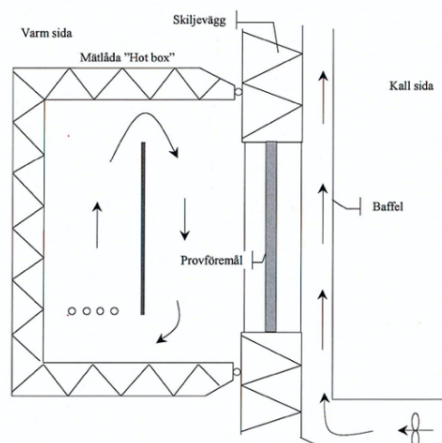
info@sp.se

Laboratorier ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



Mätutförande

Värmegenomgångskoefficienten (U-värdet) bestäms med "Hot-box"metoden enligt SS-EN ISO 8990. Under provningen var provföremålet placerat i en 15 cm tjock skiljevägg av cellplast, vilken avskiljer den varma och kalla sidan.



Provföremålet placerades vertikalt i skiljeväggen och riktning för värmeflödet är då horisontellt. Den naturliga konvektionen på den varma sidan går nedåt längs provföremålet. Lufthastigheten (uppåtriktat flöde) på den kalla sidan ställs in genom injustering av fläktar vid kalibreringsprocessen. Därefter ska fläktinställningen förbli konstant.

Data för hot-box

Area, m ²	3,17
Djup, m	0,45



Resultat

Bestämning av värmegenomgångskoefficient (U-värde) enligt SS-EN ISO 8990.

Uppdragsgivare	Hipe Innovation AB
Provföremål¹	Isotimber Träväggskonstruktion med slitsade stockar (se bilaga 3)
Provutrustning	Klimatkammare 1 Hot box 3,17 m ² Agilent 34980A measure unit
Provningsdatum	2010-10-22—25

Mätresultat för provföremål

	Kall sida	Varm sida
Luft, °C	0,1	20,8
Yttemperatur, °C	0,8	18,6
Baffel, °C	0,0	20,4
Skiljevägg, °C	0,3	19,8
Lufthastighet, m/s	2,7	<0,1

Kalibreringsvärden

Följande regressionskurvor har beräknats genom minsta kvadratmetoden för uppmätta kalibreringsvärden:

Värmemotstånd för skiljevägg (R_{sur})	$R_{sur} = 3,902 - 0,0288 \cdot \theta_{me,sur}$	
Konvektionsandel,	varm sida	$F_{c,i} = 0,3923 + 0,0021 \cdot q_{sp}$
	kall sida	$F_{c,e} = 0,8138 + 0,0002 \cdot q_{sp}$
Totalt värmeövergångsmotstånd ($R_{s,tot}$)	$R_{s,tot} = 0,2038 \cdot q_{sp}^{-0,0417}$	

q_{sp} = värmeflödestäthet för provföremål, W/m²

$\theta_{me,sur}$ = medeltemperatur för skiljevägg, °C

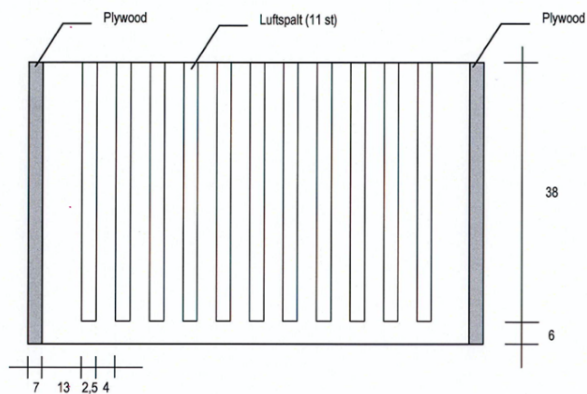
¹ Uppgifter enligt uppdragsgivare

**Beräkning av värmegenomgångskoefficient (U-värde)**

Medeltemperatur för skiljevägg, °C	10,0
Värmemotstånd för skiljevägg, m ² K/W	3,61
Area för skiljevägg, m ²	1,84
Ψ_{edge} , W/(mK)	0,0039
Effekt till hot box, W	28,3
Värmeflöde genom skiljevägg, W	9,9
Värmeflöde vid kantzonen, W	0,4
Konvektionsandel – varm sida	0,42
Konvektionsandel – kall sida	0,82
Motstrålningstemperatur – varm sida, °C	20,4
Motstrålningstemperatur – kall sida, °C	0,0
Omgivande (environmental) temperatur – varm sida, °C	20,6
Omgivande (environmental) temperatur – kall sida, °C	0,1
Omgivande (environmental) temperaturdifferens, °C	20,5
Yttemperatur – varm sida, °C	18,6
Yttemperatur – kall sida, °C	0,8
Värmemotstånd, m ² K/W	1,34
Värmeövergångskoefficient, W/(m ² K) (inkl värmeövergångsmotstånd 0,17 W/(m ² K))	0,67
Mätosnoggrannhet, %	5



Provföremål



Tvårsnitt genom stockdel

Luftspalter 11 st, 2,5 mm x 38 mm

Väggen består av 10 stockar (ca 10 cm x 12 cm) uppstapade med två träreglar (21 x 70 mm) på varje sida samt 6 mm plywood längs båda sidokanterna.

Yttemperatur mättes med 7 termoelement jämnt utspridda på vardera sidan.

Bilaga 2

Följande ekvation och variabler är hämtade från Boverket (2018). *Kartläggning av fel, brister och skador inom byggsektorn*. (s. 138–141)

Installerad eleffekt för uppvärmning ges av ekvationen $A + B \times (C - 1)$.

$$A = 4,5 *$$

$$B = 1,7 *$$

$$C = F_{\text{geo}} = 1 *$$

Vid uträkning av den fås $4,5 + 1,7 \times (F_{\text{geo}} - 1) = 4,5 + 1,7 \times (1 - 1) = 4,5$.