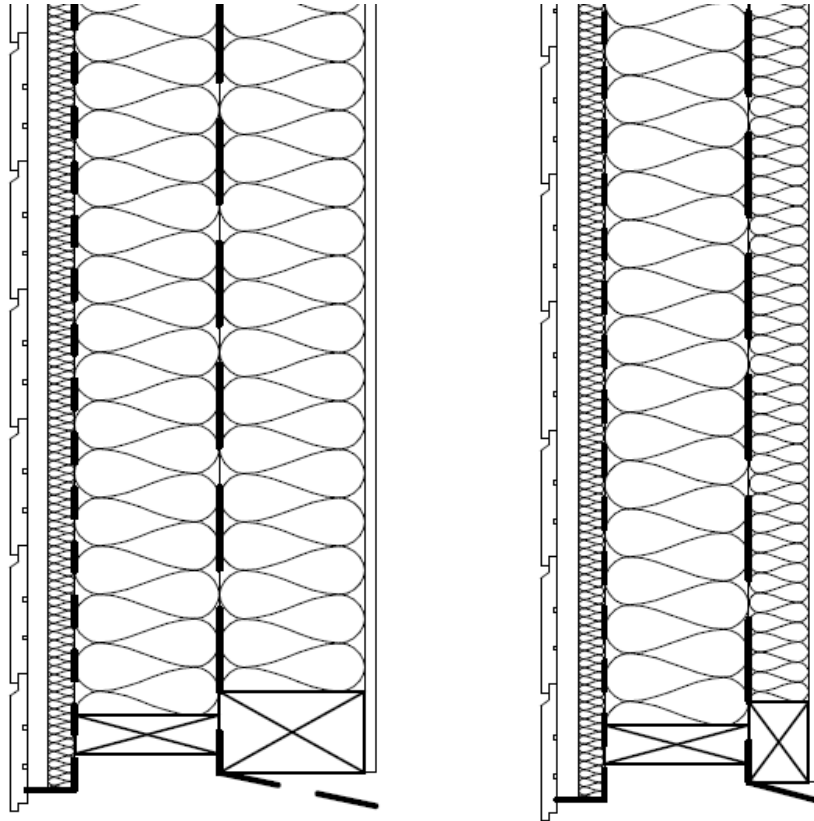




CHALMERS



Optimering av en träregelvägg ur en hållbarhets- och kostnadssynpunkt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet samhällsbyggnadsteknik

EMELIE BÄCKMAN
JULIA LUNDQVIST

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSTEKNOLOGI

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Optimering av en träregelvägg ur en hållbarhets- och kostnadssynpunkt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

EMELIE BÄCKMAN

JULIA LUNDQVIST

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Hållbart byggande

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023

Optimering av en träregelvägg ur en hållbarhets- och kostnadssynpunkt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

EMELIE BÄCKMAN

JULIA LUNDQVIST

© EMELIE BÄCKMAN, JULIA LUNDQVIST, 2023

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Hållbart byggande

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Detaljbild av framtagna ytterväggskonstruktioner.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2023

Optimering av en träregelvägg ur en hållbarhets- och kostnadssynpunkt

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

EMELIE BÄCKMAN

JULIA LUNDQVIST

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Hållbart byggande
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Bygg- och fastighetssektorn står för en stor del av Sveriges totala klimatpåverkan. För att minska klimatpåverkan måste energiförbrukningen samt koldioxidutsläppen minska i både produktion och driftskede. En byggnads energianvändning är nära relaterat till byggnadens värmeförluster och en god isolerad vägg är därför en förutsättning för att kunna effektivisera energianvändningen. För att minska koldioxidutsläppen är det även viktigt att använda förnybara material eftersom de produceras i ett naturligt kretslopp och binder koldioxid.

Genom att studera en väggs klimatpåverkan i relation till kostnader har en optimal träregelvägg tagits fram. Detta har skett genom att analysera olika isoleringskombinationer för att få fram optimala tjocklekar och jämfört dessa med A-hus' befintliga väggar. Arbetet resulterade i två väggar, där ena är ekonomisk- och ekologisk optimal och den andra är ett möjligt förbättringsförslag till A-hus. Den ekonomisk- och ekologiskt optimala väggen har en total isoleringstjocklek på 370mm, där 30mm är en fasadskiva av glasull och resterande 340mm är skivor av cellulosa. Förbättringsförslaget till A-hus har en total isoleringstjocklek på 270mm och har en liknande uppbyggnad som den optimala väggen, med 30 mm fasadskiva av glasull och resterande 240mm av cellulosaaskivor. Jämfört med A-hus' standardvägg ger det optimala väggförslaget en minskad klimatpåverkan med 27.7%. Den totala kostnaden minskar med 3.5% vilket inkluderar investeringskostnaden och uppvärmningskostnaden under 50 år. Trots den totala minskningen ökar investeringskostnaden med 22% och därför anses väggen ej kunna prismässigt konkurrera med A-hus' standardvägg. Väggförslaget till A-hus ger en minskad klimatpåverkan med 14.3%. Den totala kostnaden ökar med 3.6% varav investeringskostnaden ökar med 2% vilket innebär att väggen prismässigt kan konkurrera med A-hus' standardvägg. Båda väggförslagen innehåller relativt små förändringar gällande väggens uppbyggnad, vilket visar att det med enkla medel går att minska en traditionell träregelväggs klimatavtryck utan en stor prisökning.

Nyckelord: Yttervägg, träregelvägg, isolering, koldioxidutsläpp, klimatpåverkan, ekonomisk optimering, ekologisk optimering

Optimization of a wood stud wall from a sustainability- and cost aspect.

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

EMELIE BÄCKMAN

JULIA LUNDQVIST

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building technology
Sustainable Building
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The construction and property sector accounts for a large part of Sweden's total climate impact. To reduce the climate impact, energy consumption and carbon dioxide emissions must be reduced in both the production and operational stages. A building's energy use is closely related to the building's heat losses, and a well-insulated wall is therefore a prerequisite to be able to make energy use more efficient. In order to reduce carbon dioxide emissions, it is also important to use renewable materials because they are produced in a natural cycle and bind carbon dioxide.

By studying the wall's climate impact in relation to costs, an optimal wooden stud wall has been designed. This has been done by analysing different insulation combinations to obtain optimal thicknesses and comparing these with A-hus' existing walls. The work resulted in two walls, where one of them is economically and ecologically optimal and the other is an improvement proposal for A-hus. The economically and ecologically optimal wall has a total insulation thickness of 370mm, where 30mm is a facade board made of glass wool and the remaining 340mm are boards made of cellulose. The improvement proposal for A-hus has a total insulation thickness of 270mm and has a similar structure to the optimal wall, with a 30mm facade board made of glass wool and the remaining 240mm is cellulose boards. Compared to A-hus' standard wall, the optimal wall proposal results in a reduced climate impact by 27.7%. The total cost is reduced by 3.5% which includes the investment cost and the heating cost over 50 years. Despite the total reduction, the investment cost increases by 22% and therefore the wall is considered unable to compete in terms of price with A-hus' standard wall. The wall proposal for A-hus provides a reduces climate impact by 14.3%. The total cost increases by 3.6%, of which the investment cost increases by 2%, which means that the wall can compete in terms of price with A-hus' standard wall. Both wall proposals contain relatively small changes regarding the construction of the wall, which shows that with simple measures it is possible to reduce the climate footprint of a traditional wooden stud wall without a large price increase.

Key words: Exterior wall, wood stud wall, insulation, carbon dioxide emissions, climate impact, economic optimization, ecological optimization

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNING	VI
1 INTRODUCTION	1
1.1 Bakgrundsbeskrivning	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar	2
2 TEORI	3
2.1 Byggnadsfysikaliska egenskaper	3
2.1.1 Värme	3
2.1.2 Fukt	3
2.2 Boverkets lagar och regler	4
2.2.1 Fukt	5
2.2.2 Energi	5
2.2.3 Brand	5
2.2.4 Klimatpåverkan	6
2.3 Uppbyggnad träyttervägg	7
2.4 Regelverk	8
2.5 Isolering	8
2.5.1 Mineralull	9
2.5.2 Cellulosa	9
2.5.3 Hampafiber	10
2.5.4 Högpresterande isoleringsmaterial	10
2.5.5 Isoleringsmaterialens egenskaper	12
2.6 Vindskydd	12
2.7 Ångspärr	13
2.8 Invändig beklädnad	13
2.8.1 Gips	13
2.8.2 Fibergips	13
2.8.3 OSB	14
2.8.4 Byggskiva av återvunna förpackningar	14
3 METOD	15
3.1 Befintliga väggar	15

3.2	Beräkningar	16
3.2.1	Värme	16
3.2.2	Fukt	17
3.2.3	Klimatpåverkan	19
3.2.4	Ekonomisk- & ekologisk optimering av isolering	19
3.3	Utformning av nya väggar	23
4	RESULTAT	24
4.1	Analys av A-hus' befintliga väggar	24
4.2	Ekonomisk och ekologisk optimering av isolering	27
4.3	Optimalt väggförslag	28
4.4	Väggförslag till A-hus	30
4.5	Jämförelse resultat	33
5	DISKUSSION	34
5.1	Materialval	34
5.2	Klimatpåverkan	35
5.3	Förväntad förändring	35
5.4	Osäkerheter	36
5.5	A-hus	37
5.6	Resultat	37
6	SLUTSATS	39
	REFERENSER	40
	BILAGOR	45
	Bilaga 1: Materialdata	45
	Bilaga 2: Investeringskostnad	46
	Bilaga 3: Beräkning U-värde	47
	Bilaga 4: Beräkning klimatpåverkan	49
	Bilaga 5: Beräkning ånghalt	50
	Bilaga 6: Ekonomisk och ekologisk optimering	54

Förord

Det här examensarbete har genomförts som avslutande del av högskoleingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola och omfattar 15 högskolepoäng. Arbetet har utförts tillsammans med A-hus och avdelningen för byggnadsteknologi på Chalmers. Vi vill tacka Jimi Leo från A-hus som under arbetets gång bistått med värdefulla synpunkter och information. Vidare vill vi tacka Yutaka Goto, vår handledare från avdelningen för byggnadsteknologi, för stöd och vägledning genom hela projektet.

Alla figurer och tabeller är våra egna, om inget annat anges.

Göteborg maj 2023
Emelie Bäckman
Julia Lundqvist

Beteckning

δ :	ånggenomsläppligheten för material	$[\text{m}^2/\text{s}]$
λ :	värmeledningsförmåga	$[\text{W}/\text{mK}]$
D:	värmegradsdagar	$[\text{°C dag}]$
d:	materialsiktets tjocklek	$[\text{m}]$
p:	andel material i ett skikt	$[\%]$
Q:	värmeförlust	$[\text{kWh}/\text{m}^2]$
R:	värmemotstånd	$[\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$
RF:	relativ fuktighet	$[\%]$
T:	temperatur	$[\text{°C}]$
U:	värmeomgångskoefficient	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
v_s :	mättnadsånghalt	$[\text{g}/\text{m}^3]$
v:	absolut ånghalt	$[\text{g}/\text{m}^3]$
Z:	ånggenomgångsmotstånd	$[\text{s}/\text{m}]$

1 Introduktion

1.1 Bakgrundsbeskrivning

Hållbarhet är ett ämne som är väldigt aktuellt i dagens samhälle där det finns både globala och nationella mål inom hållbar utveckling. Agenda 2030 är globala mål som 2015 antogs av FN:s medlemsländer (Globala målen, u.å.). Dessa innefattar bland annat målen ”hållbara städer och samhällen” samt ”hållbar konsumtion och produktion”. Utöver Agenda 2030 har Sverige även 16 miljömål, där ett av målen är ”god bebyggd miljö” (Sveriges miljömål, u.å.). Miljömålen handlar främst om en långsiktigt hållbar samhällsutveckling med minskad klimatpåverkan samt resurs- och energianvändning.

Bygg- och fastighetssektorn har en stor miljöpåverkan och stod 2020 för 21% av Sveriges utsläpp av växthusgaser (Boverket, 2023c). För att byggbranschen skall kunna minska sin miljöpåverkan måste koldioxidutsläppet minska i både produktion och driftskede. En åtgärd är att välja förnybara material, exempelvis trä. Ett förnybart byggmaterial produceras naturligt i ett ekologiskt kretslopp och binder koldioxid (Svenskt trä, u.å.). Genom att bygga med trä eller andra förnybara byggmaterial kan byggbranschen bidra till ett mer hållbart samhälle.

Vidare står bygg- och fastighetssektorn även för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning, varav 73% går åt till uppvärmning av byggnader (Boverket, 2023b). Energianvändningen bör minska då den bidrar till utsläpp av växthusgaser. Eftersom en byggnads energianvändning är nära relaterat till byggnadens värmeförluster är en god isolerad vägg en förutsättning för att kunna effektivisera en byggnads energianvändning. Enligt det nationella miljö kvalitetsmålet ”God bebyggd miljö” ska energianvändningen ske på ett ”effektivt, resursbesparande och miljöanpassat sätt”.

A-hus ingår i koncernen Derome och är tillverkare av småhus med trä som förstahandsval (A-hus, u.å.-b). Inom koncernen kontrolleras allt från det att träden planteras och fälls till dess att det blir färdiga moduler och hus. Genom att ha verksamheter inom hela värdekedjan har de full kontroll över bland annat kvalitet och hållbarhet. Hållbar utveckling är viktigt för A-hus. De driver flera forsknings- och utvecklingsprojekt inom hållbart byggande, varav ”Klivet” är ett av dem. Genom att välja bättre material och lösningar minskar de husets klimatavtryck med upp till 37% (A-hus, u.å.-c). Däremot är det svårt att standardisera Klivet då det inte bara är svårt att genomföra produktionsmässigt, det hade dessutom inneburit stora investeringar för A-hus.

Att bygga hållbart är känt för att vara dyrt och därför avstår många att välja mer hållbara alternativ än tvunget. En minskad klimatpåverkan är viktigt för A-hus' som hustillverkare men också för byggbranschen i helhet. Därför kommer detta arbete undersöka alternativ som är bättre för miljön och som prismässigt kan konkurrera med en standard-vägg, utan att det sker stora förändringar i väggens byggnadsfysikaliska egenskaper.

1.2 Syfte och mål

Syftet är att hitta den optimala träregelväggen ur en hållbarhets- och kostnadssynpunkt, genom att studera väggens koldioxidutsläpp i relation till kostnader. Målet är att hitta en vägg som är mer hållbar än A-hus' standardvägg och som är genomförbar i produktion, samtidigt som den skall vara kostnadseffektiv.

1.3 Frågeställningar

- Vad är den optimala isoleringstjockleken för en träregelvägg ur en hållbarhets- och kostnadssynpunkt?
- Hur kan A-hus' standardvägg ändras för att minska koldioxidutsläpp i produktion och drift utan avsevärda förändringar i väggens fukt- och värmemotstånd?
- Hur kan en vägg med låga koldioxidutsläpp prismässigt konkurrera med A-hus' standardvägg?

1.4 Avgränsningar

Arbetet har begränsat till att endast undersöka ytterväggskonstruktioner med träregelstomme. Anslutningarna mellan vägg och resterande klimatskal har inte tagits hänsyn till. De material som valts att studeras i arbetet skall dessutom fungera produktionsmässigt i A-hus' fabrik, utan dyra investeringar. Dimensionering har inte gjorts för hållfasthet, brand eller akustik. Geografisk plats för byggnaden har antagits vara i Göteborg med omnejd där A-hus' är som mest verksamma. All data och beräkning är därför baserad på Göteborgs klimat och priser. I beräkningarna har en livslängd på 50 år antagits, då det är den livslängd som husen från A-hus förväntas ha.

2 Teori

2.1 Byggnadsfysikaliska egenskaper

Vid dimensionering av en byggnad är det viktigt att uppfylla en mängd olika byggnadsfysikaliska funktionskrav. En byggnad skall dimensioneras för att skapa en hälsosam inomhusmiljö med god komfort, ha en låg energiförbrukning, en god beständighet samt en rimlig miljöbelastning (Petersson, 2015). För att en byggnad ska uppfylla dessa egenskaper krävs det att den har en fullgod värmeisolering och är tillräckligt fuktskyddande.

2.1.1 Värmetransport

Värmetransport sker från de delar av konstruktionen som har en högre temperatur, till delar med en lägre temperatur (Petersson, 2015). Värmetransporten kan ske på tre sätt; ledning, strålning och konvektion. Ledning innebär att värme leds genom homogena material med temperaturskillnader som drivkraft. Även strålning har temperaturskillnader som drivkraft, men värmen överförs från varmare ytor till kallare. Konvektion drivs av lufttrycksskillnader och innebär att värme överförs via luften.

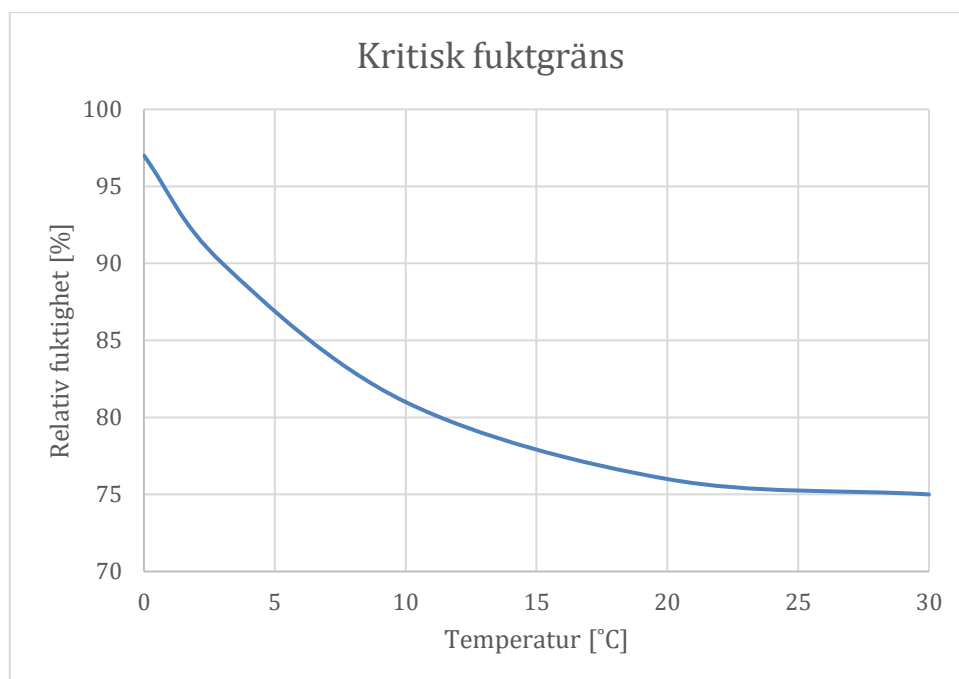
Värmeledningsförmåga, även kallat termisk konduktivitet beskriver förmågan hos ett material att släppa igenom värme (Petersson, 2015). Värmeledningsförmågan avser den totala värmetransporten i materialskiktet och tar alltså hänsyn till ledning i det fasta materialet samt strålning och konvektion i materialets porer.

Ett sätt att ange hur bra isolerad en konstruktionsdel är, är genom att ange värmegenomgångskoefficienten, även kallat U-värde (Strandberg, 2015). U-värdet är ett mått på hur mycket värme som transporteras genom materialet, vilket innebär att ett material med lågt U-värde har goda isolerande egenskaper.

2.1.2 Fukttransport

Fukt kan transporteras som vattenånga eller som vätska i konstruktionen (Petersson, 2015). Faktorer som påverkar fukttransporten är materialens värme- och fukttekniska egenskaper, konstruktionens uppbyggnad samt omgivningens lufttryck-, värme- och fuktförhållande. Fukttransport kan ske på tre sätt; diffusion, konvektion och kapillärsugning. Diffusion innebär att vattenånga rör sig genom konstruktionen mot den sida med lägre koncentration. Det är en relativt långsam process där ånghaltsskillnaden är drivkraft. Diffusionen sker vanligtvis inifrån och ut då ånghalten normalt är högre inomhus (Strandberg, 2015). Konvektion innebär att vattenånga transporteras via luft med lufttrycksskillnad som drivkraft (Petersson, 2015). Vattenångan transporteras mot sidan med lägre lufttryck. Lufttrycksskillnader förekommer främst på grund av temperaturskillnader mellan inne- och uteluft men kan även uppstå genom skorstenseffekten, genom ventilationssystemet eller från vind som blåser på huset (Strandberg, 2015). Kapillärsugning drivs av fukthaltsskillnader och innebär att vatten transporteras mot den sida med lägre fukthalt (Petersson, 2015). Flera olika fukttransporter kan ske samtidigt, i samma riktning eller motriktade varandra.

Fukt är en vanlig orsak till att skador uppstår i byggnader och orsakas av många olika faktorer (Strandberg, 2015). Fukten kan komma från nederbörd som tränger sig in i otätheter, trasiga vattenledningar eller läckande installationer. Men det är också stora mängder fukt som tillförs under byggtiden, så kallad byggfukt, som ska torkas ut och transporteras ut ur byggnaden. Ett materials högsta fukttillstånd kallas för det kritiska fukttillståndet vilket är det tillstånd innan risk för skador uppstår. Det kritiska fukttillståndet varierar beroende på material och temperatur. Om flera material kombineras i en konstruktion blir det mest fuktkänsliga materialet avgörande för högsta tillåtna nivå på fukt. En träregelkonstruktion bör dimensioneras med avseende på den kritiska fuktgränsen för trä, då det är det mest fuktkänsliga materialet i konstruktionen (Johansson, 2014). Den kritiska fuktgränsen för trä visas i figur 1. När det kritiska fukttillståndet uppnås påverkas materialets egenskaper drastiskt och/eller sker en mikrobiell tillväxt på materialytan (Boverket, 2023a).



Figur 1: Kritisk fuktgräns för trä i relation till temperatur (Havinga & Schellen, 2018).

2.2 Boverkets lagar och regler

För att säkerställa att byggnader håller en viss standard har Boverket författat föreskrifter och allmänna råd till Plan- och bygglagen (PBL). PBL är en lag med bestämmelser om byggande samt planläggning av mark och vatten (Sveriges riksdag, 2010). Syftet är att främja en jämlik samhällsutveckling i en hållbar riktning.

2.2.1 Fukt

I Boverkets byggregler (2011:6) beskrivs de krav som finns för fukt och fuktsäkerhet. Bland annat står det att ”Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller mikrobiell växt som kan påverka hygien eller hälsa. (BFS 2014:3).”

Bland annat finns högsta tillåtna fuktillstånd, vilket är den gräns där fukt inte förväntas orsaka skador som kan påverka hygien och hälsa (Boverket, 2011:6). Vid bestämning av högsta tillåtna fuktillstånd ska väl undersökta och dokumenterade kritiska fuktillstånd användas. Hänsyn ska tas till bland annat när det sker en tillväxt av mögel och bakterier, när oacceptabla reaktioner och fuktrörelser sker, samt när det sker förändringar i materialets mekaniska och termiska egenskaper.

2.2.2 Energi

Enligt kapitel 9 i Boverkets byggregler (2011:6) ska byggnader utformas för begränsad energianvändning. De ska bland annat begränsas genom minimala värmeförluster och effektiv värme- och elanvändning. Byggnaderna ska vara utformade så att de som högst uppnår de värden som finns angivet i tabell 1. Vad gäller primärenergitalet ska viktningsskoefficienter användas per energibärare samt geografiskt läge ska tas hänsyn till. Det finns inga enskilda krav för de olika byggnadsdelarna så som vägg och tak utan endast en övre tillåten genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m för hela byggnadens klimatskärmen.

Tabell 1: ”Högsta tillåtna primärenergital, installerad eleffekt för uppvärmning, genomsnittlig värmegenomgångskoefficient och genomsnittligt luftläckage, för småhus, flerbostadshus och lokaler” (Boverket, 2011).

	Energi- prestanda uttryckt som primärenergi- tal (EP_{pet}) [kWh/m ² A_{temp} och år]	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenom- gångskoeffi- cient (U_m) [W/m ² K]	Klimatskärmen s genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder				
Småhus >130 m ² A_{temp}	90	4,5 + 1,7 x ($F_{\text{geo}} -$ 1) ¹⁾	0,30	Enligt avsnitt 9:26
Småhus >90–130 m ² A_{temp}	95			
Småhus >50–90 m ² A_{temp}	100			
Småhus ≤50 m ² A_{temp}	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	75 ⁴⁾	4,5 + 1,7 x ($F_{\text{geo}} -$ 1) ^{1) 5)}	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler				
Lokaler	70 ²⁾	4,5 + 1,7 x ($F_{\text{geo}} -$ 1) ^{1), 3)}	0,50	Enligt avsnitt 9:26

2.2.3 Brand

De byggnadstekniska krav som finns på brandskydd har som syfte att förhindra att brand uppstår, och att begränsa brandens omfattning ifall det trots allt skulle uppstå (Strandberg, 2015). Byggnaden ska se till att människorna som befinner sig i byggnaden ska få tid att ta sig till säkerhet innan det uppstår kritiska förhållanden. Boverkets krav har fokus på personskydd, men även egendomsskyddet är viktigt. Byggnader delas in i sex olika verksamhetsklasser, Vk1 – Vk6, som därefter har

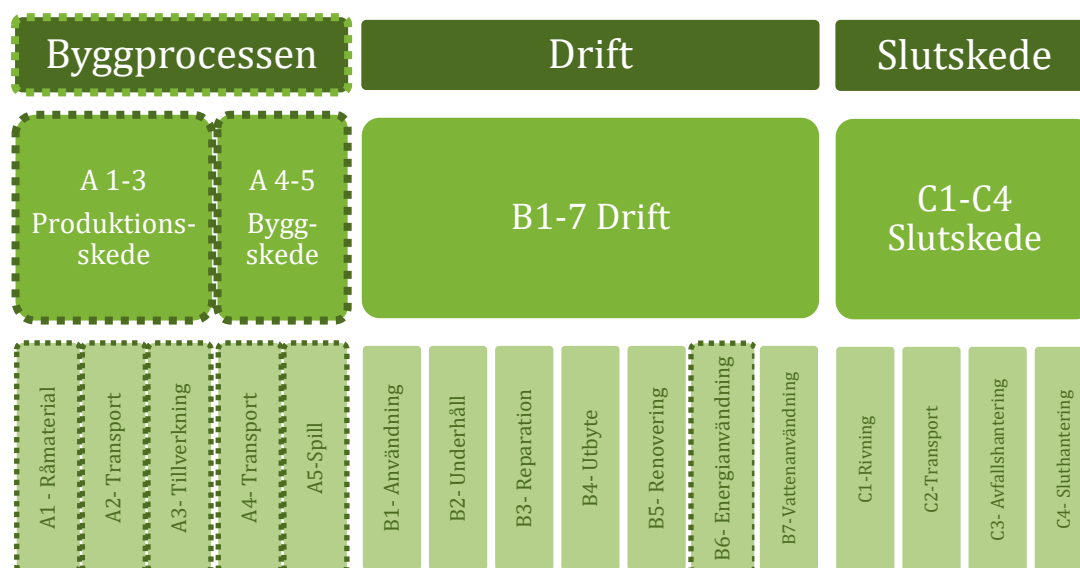
undergrupperingar, baserat på byggnadens funktion och vilken kännedom människorna har om byggnaden och dess utrymningsvägar. ”Vanliga” bostäder kategoriseras i Vk3A. Baserat på byggnadens utformning finns det sedan fyra olika byggnadsklasser, Br0 – Br3. Villor med en eller två våningar hamnar i Br3.

Det finns även brandtekniska klasser för olika byggnadsdelar (väggar, tak, bjälklag, dörrar, med mera.) baserat på byggnadsdelens funktion (Strandberg, 2015). De skrivs med beteckningen R för bärförmåga, E för integritet (täthet) och I för isolering, vilka sedan följs med ett tidskrav på mellan 15 och 360 minuter.

Bärande konstruktioner för byggnader i Br3 och Vk3 har generellt kravet R15, vilket då innebär att konstruktionens bärförmåga ska klara av brand i 15 minuter (Blixt & Svanteson, u.å.). De generella kraven på avskiljande konstruktioner för byggnader i Br3 är EI30, vilket innebär att integriteten och isoleringen ska kunna utstå brand i 30 minuter innan de tappar sin förmåga.

2.2.4 Klimatpåverkan

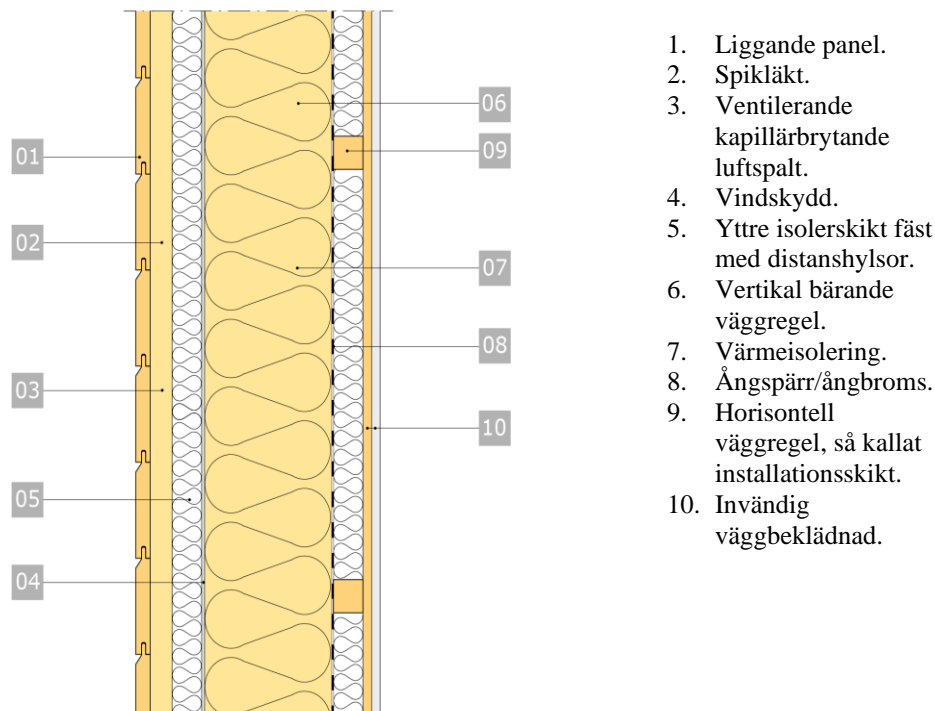
Enligt Boverkets föreskrifter (2021:7) ska en klimatdeklaration ske för alla nya byggnader. Reglerna skapar en generell metod för klimatberäkningar där klimatpåverkan definieras som utsläpp av växthusgaser i enheten koldioxidekvivalenter per kilogram material [kg CO₂e/kg] och är den totala effekten utsläpp exklusive upptag av biogen koldioxid. I klimatdeklarationen kan antingen generiska klimatdata från Boverkets klimatdatabas användas alternativt specifika klimatdata för enskilda byggprodukter. En byggnad eller byggnadsdels klimatpåverkan har delats in efter olika skeden; byggprocess, drift- och slutskede enligt figur 2.



Figur 2: Uppdelning av en byggnad eller byggnadsdels klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv vilka de prickade behandlas i rapporten (Boverket, 2021a).

2.3 Uppbyggnad träyttervägg

Vid uppbyggnad av en yttervägg är det en mängd olika funktioner som behöver uppfyllas, så som byggnadstekniska och estetiska (Strandberg, 2015). Det är viktigt att förstå de olika väggkomponenternas roll och funktion så att rätt material och materialkombinationer väljs för att kunna uppfylla Boverkets krav. En träregelvägg består vanligtvis av ett eller flera lager träreglar med isolering mellan och med en utanpåliggande fasad (Boverket, 2021b). Väggens exakta utformning beror på de krav som ställs på väggen, gällande energihushållning, bärighet, ljud samt brand. En typisk uppbyggnad av en träregelyttervägg visas i figur 3 och innehåller tre skikt av värmeisolering med en total tjocklek på cirka 270mm (TräGuiden, 2021b). Med ökade krav på att reducera en byggnads energianvändning finns lågenergihus så som näranoll-energi-hus samt passivhus. Dessa har generellt tjockare isolerlager alternativt fler lager med isolering så att dess totala isoleringstjocklek blir uppåt 365mm. Den extra isoleringen reducerar värmeförlusterna och kan minimera köldbryggor. U-värdet hos en träregelvägg i nybyggda hus är generellt under $0.2\text{W/m}^2\text{K}$.



Figur 3: Traditionell uppbyggnad av träregelyttervägg med liggande panel (TräGuiden, 2021b).

En yttervägg kan vara både bärande och/eller avskiljande (Strandberg, 2015). En bärande yttervägg ska kunna bära upp husets och verksamhetens laster samt föra ner den vertikala lasten till husets grund. Oavsett om ytterväggen är bärande eller ej ska den alltid kunna stå emot vindlast samt kunna bära sin tyngd. Som avskiljande ska ytterväggen skydda mot vind och nederbörd, vara värmeisolerande samt ha ett lufttätt och ångtätt skikt. Ytterväggen bör dessutom vara ljudisolerande samt förhindra brandspridning.

2.4 Regelverk

Träregelväggen är den vanligaste stommen bland småhus och kan vara bärande eller icke bärande (TräGuiden, 2021a). Regelverket består generellt av vertikala träreglar med ett rektangulärt tvärsnitt som oftast kompletteras med ett korsande horisontellt lager av reglar. Det är vanligt att placera reglarna med ett fixerat centrumavstånd, normalt 600mm men med viss anpassning vid väggöppningar (TräGuiden, 2003). Den vanligaste tjockleken för reglarna är 45mm vilket har visats vara ett lämpligt mått för att kunna fästa två skivor på samma regel, men träregelns bredd varierar. Ett regelverks bärförmåga bestäms generellt av regelns bredd vilken i sin tur ofta bestäms efter värmeisoleringens tjocklek. En träregelvägg räknas som brännbar, där dess brandegenskaper baseras på trämateriallets dimensioner (Strandberg, 2015). Trä har en förkolningshastighet på ca 1mm/minut, där dess egenskaper förblir oförändrade innanför kolskiktet. Godkända träytterväggar finns i brandklasser upp till REI60.

2.5 Isolering

Isolering är den komponent i väggen som främst används för att bevara värmen eller kylan som finns i huset men fungerar också som ljuddämpning, fukt- och brandskydd (Al-Homoud, 2005). Isoleringen spelar alltså en viktig roll när det gäller en ytterväggs egenskaper. Att använda isolering minskar inte bara behovet av uppvärmning utan hjälper även till att skapa en akustisk komfort. Beroende på val av isoleringsmaterial och dess installation kan isoleringen även förhindra ångkondensering samt hjälpa till att bromsa eventuell brand. För att värmeisoleringen ska ha högsta möjliga prestanda bör den placeras så nära den varma ytan som möjligt, det vill säga nära den invändiga sidan av väggen. (Sadineni m.fl., 2011). Med hänsyn till byggsektorns stora klimatpåverkan har energieffektivare byggnader samt mer hållbara byggnadsmaterial efterfrågats vilket har resulterat i att nya isoleringsmaterial utvecklats (Jelle, 2011).

Termisk konduktivitet är en av isoleringsmaterialets viktigaste egenskaper, där målet är att uppnå så låg värmeledningsförmåga som möjligt (Jelle, 2011). Ett material klassas generellt som isolering om dess konduktivitet är lägre än 0.07W/mK (Asdrubali m.fl., 2015). Det är viktigt att skydda materialet då värmeledningsförmågan hos värmeisolering generellt ökar med ökad temperatur och fuktighet, vilket försämrar dess prestanda (Sadineni m.fl., 2011). Ett tjockare isoleringsskikt ger energieffektivare byggnader men är platsineffektivt och dyrt. Det finns isolering med extremt låg värmeledningsförmåga, så kallade högpresterande isolering, som möjliggör tunnare skikt utan försämrade energiprestanda.

Isolering produceras i flera olika material, strukturer samt former där prefabricerade skivor och lösull är vanligast, men det förekommer även som skum och block (Al-Homoud, 2005). Att använda lösull kräver generellt en större investeringskostnad vid installation men ger en skarvfri isolering och knappt något spill vilket resulterar i en mindre klimatpåverkan än prefabricerade skivor. Fördelen med skivor är främst den enkla installationen. Skivor finns dessutom med olika densitet, halvstyva har en lägre densitet medan styva har en högre densitet. De halvstyva skivorna används primärt som invändig isolering och de mer styva skivorna som utvändigt isolering, även kallat fasadskiva. Vid framställning av isolering är det även viktigt att den produceras för en lång livslängd då den ofta förväntas fungera under hela byggnadens planerade livslängd (Mazor m.fl., 2011).

2.5.1 Mineralull

Mineralull är ett samlingsnamn för glasull och stenull. Mineralull är det vanligaste av alla isoleringsmaterial i Europa med 60% av marknaden (Villasmil m.fl., 2019). Tillverkningen av glasull sker genom att glas och sand smälts ner i temperaturer omkring 1400 °C och spinns sedan till tunna trådar (Jelle, 2011). Stenullstillverkningen sker på liknande sätt, där stenmassan som främst består av basalt, dolomit och kalksten, smälts vid cirka 1500 °C (Tettey m.fl., 2014). För att binda ihop fibrerna behandlas glas- respektive stentrådarna med dammreducerande olja och fenolharts. Mineralull finns som både skivor och lösull och har vanligtvis en termisk konduktivitet på 0.03-0.04W/mK (Jelle, 2011). Skivor av mineralull finns i både lägre och högre densitet, och beroende på densitet kan de därför användas som invändig isolering eller som fasadskiva.

Med hänsyn till den höga temperaturen under tillverkningen är produktionen väldigt energikrävande. Det är dock viktigt att se på helheten, då isoleringen sparar på energi och utsläpp under dess livstid genom bland annat minskad energianvändning i byggnaden. För varje ton koldioxid som släpps ut under produktionsstadiet, sparas det upp till 200 ton koldioxid under produktens livstid (Eurima, u.å.-a).

Mineralull är relativt bra för miljön då det är ett lätt material som kräver lite energi vid transporter samt att materialet går att återvinna till ny isolering i slutet av dess livscykel (Eurima, u.å.-b).

2.5.2 Cellulosa

Cellulosaisolering kan bestå av antingen återvunna tidningar eller träfiber (Petersson, 2015). I denna rapport har de olika varianterna valts att separeras för att möjliggöra en jämförelse mellan isolering av återvunnet papper och träfiber. Vidare i rapporten kommer de benämnas som cellulosaisolering respektive träfiberisolering.

Den termiska konduktiviteten för cellulosaisolering är oftast omkring 0.04W/mK men det varierar beroende på material, tillverkning och installation. Cellulosaisolering finns som både skivor och lösull, och är bra ur en arbetsmiljösynpunkt då det jämfört med mineralullen varken orsakar kli, klåda eller andra irritationer på huden (iCell, u.å.-a).

2.5.2.1 Cellulosa (av återvunnet papper)

Cellulosaisolering av återvunnet papper består främst av återvunna tidningar, samt tillsatser för att förhindra brandspridning och biologisk påväxt (Lopez Hurtado m.fl., 2016). Tidningarna mals ner till en bomullsliknande massa med låg densitet. I detta stadie tillsätts vanligtvis flam- och glödhämmande kemikalierna borax och borsyra för att minska brandspridningen. Tillsatsen av kemikalierna ökar dock värmeledningsförmågan vilket försämrar dess isoleringsegenskaper (Sadineni m.fl., 2011).

Att använda oanvänt papper eller återvunnet tidningspapper gör en stor skillnad på cellulosaisoleringens klimatpåverkan. Klimatpåverkan är enligt Boverkets klimatdatabas (2023b) 0.625kg CO_{2e}/kg respektive 0.2kg CO_{2e}/kg. Att använda 1 ton återvunnet tidningspapper sparar dessutom 19 träd, 4000 kWh energi och 29 000 liter rent vatten (iCell, u.å.-a).

När isoleringen förbrukats förbränns materialet för energiåtervinning (ECIA, 2018). Cellulosaisoleringen kan brytas ner till nya cellulosa-fibrer för att produceras till ny isolering vilket anses vara en väldigt enkel process, men är tyvärr inget som utförs i dagsläget. Däremot kan cellulosa-fibrer inte återvinnas i oändlighet, efter att ha återvunnits 6–7 gånger minskar fiberegenskaperna så mycket att de inte går att återanvända längre (Healthy Printing, u.å.).

2.5.2.2 Träfiber

Träfiberisolering består främst av träflis som sedan produceras till träfiber (Hunton, u.å.). Då träflis generellt är en restprodukt från sågverken bidrar tillverkningen till minimalt av spill från annan trämaterialtillverkning. Trä är en förnybar råvara som lagrar koldioxid, både under produktion och under hela dess livstid. Beroende på förväntad livslängd kan därför träfiberisolering möjliggöra ett koldioxidnegativt byggande. När isoleringen nått sin livslängd kan materialet brytas ner och återvinnas till nya skivor.

Träfiberisolering produceras i både halvstyva och styva skivor, och används därför både som invändig isolering samt som fasadskiva (Woodycell, u.å.). Den styva fasadskivan är värmeisolerande men också vind- och väderskyddande. Fasadskivan kan därför, till skillnad från den invändiga isoleringen utsättas för väder och vind under en begränsad tid.

2.5.3 Hampafiber

Hampafiber är ett förnybart material och framställs från de yttre delarna av stammarna på växten hampa (Ekolution, u.å.-a). Då hampa är en snabbväxande växt tar det endast 150 dagar från frö till färdig isolering. Fördelarna med växten är många, förutom att den binder stora mängder koldioxid, kräver den inga bekämpningsmedel och väldigt lite vatten. Hampa växer och produceras till isolering i Sverige så transportererna är dessutom relativt korta. När materialet förbrukats kan det även returneras till fabriken för att 100% återvinnas till ny isolering. Med hänsyn till den stora mängden koldioxid hampan binder och dess snabba produktionstid möjliggörs koldioxidnegativt byggande.

Materialet har en god isoleringsförmåga med en konduktivitet på 0.04W/mK och likt cellulosaisoleringen är hampafiber bra ur en arbetsmiljösynpunkt då den är skonsam mot hud och andningsorgan. Hampafiber är dock ett brännbart material, så för att säkerställa en brandsäker vägg är det viktigt med materialkombinationer av högre brandklass.

2.5.4 Högpresterande isoleringsmaterial

Ett högpresterande isoleringsmaterial har en betydligt lägre värmeledningsförmåga än de traditionella isoleringsmaterialen. Användningen av högpresterande isoleringsmaterial möjliggör effektiva energibesparingar med minimal utrymmes-användning. Med dagens stigande energipriser och hårdare normkrav är tjockare isolering en vanlig lösning. Med högpresterande isoleringsmaterial frigörs mer boarea till samma byggarea utan att tumma på energikraven.

2.5.4.1 PIR

PIR är en förkortning för polyisocyanurat och är gjort av ett fast polyuretanskum som bekläds med olika ytskikt (Strandberg, 2015). Det är ett högpresterande isoleringsmaterial med en konduktans på 0.022W/mK , vilket är betydligt lägre än de tidigare nämnda isoleringsmaterialen (Kingspan, u.å.-c). Då den styva isoleringsskivan har slutna celler samt är luft- och ångtät kan den användas både som invändig isolering eller som fasadskiva. Beroende på användningsområde kan det bekläds med olika ytskikt så som aluminiumfolie alternativt gipsskiva. När isoleringsmaterialet sedan har förbrukats kan det återvinnas mekaniskt eller kemiskt och kan på så vis antingen bli nya skivor eller nytt polyuretan (UNILIN, 2014).

Det har dock visat sig att PIR är skadligt för miljön då klorfluorkarboner (CFC) och klorfluorkolväten (HCFC) som finns i materialet gradvis släpps ut under materialets livscykel (Sadineni m.fl., 2011). CFC och HCFC är ozonnedbrytande ämnen och påverkar den globala uppvärmningen. PIR innehåller även isocyanurat som är ett irriterande ämne för ögon och hud.

2.5.4.2 Fenolskum (PF)

Fenolskum eller Phenolic foam (PF) är ett relativt nytt högpresterande isoleringsmaterial. Fenolskum är ett värmehärdande polymermaterial, vilket är en osmältbar plast (Kingspan, u.å.-a). Vid tillverkningen tillsätts ett expensionsmedel för att skapa ett skum som sedan beläggs med ett ytskikt. Skivorna kan användas både som invändig isolering eller som en fasadskiva.

Fenolskum har många likheter med isoleringsmaterialet PIR som också är en typ av härdplast. Enligt Kingspan har fenolskummet någorlunda bättre brandegenskaper samt en viss ånggenomsläpplighet. Materialet har dessutom snäppet bättre isoleringsegenskaper med sin låga värmeledningsförmåga på 0.021W/mK (Kingspan, u.å.-b).

Den förväntade livslängden för fenolskum är över 50 år och för närvarande finns ingen metod för att återvinna materialet då skummets struktur inte går att brytas ner (UK Research and Innovation, 2022). Däremot forskas det för att hitta en kemisk metod för återvinning för att på så vis kunna återskapa ny polymer av materialet.

2.5.4.3 VIP

Vakuumisoleringspaneler (VIP) är ett annat högpresterande isoleringsmaterial. Panelerna är tillverkade av en porös kärna av kiseldioxid vilken omsluts av en lufttät laminering som bibehåller vakuomet i panelerna (Jelle, 2011). Skivorna kan användas antingen som invändig isolering eller som fasadskiva. Materialet har en extremt låg konduktivitet på $0.003\text{-}0.004\text{W/mK}$ vilket möjliggör väldigt tunna paneler. På grund av ånga och luftdiffusion kan värmeledningsförmågan försämrats med tiden, där val av foliematerial och panelstorlek har en stor inverkan. Panelerna väntas få en konduktivitet mellan $0.005\text{-}0.016\text{W/mK}$ efter hundra års användning, vilket ändå resulterar i ett värmeledningstal som är mindre än hälften av de traditionella isoleringsmaterialen. Om panelerna skadas eller punkteras, vilket lätt händer på grund av spikar eller liknande, så ökar konduktiviteten generell till 0.02W/mK . Detta ses som en stor nackdel hos materialet då de varken kan kapas eller justeras på arbetsplatsen utan att förlora sin

prestanda. Eftersom materialet varken kan spikas eller skruvas fast är infästningen av materialet en utmaning. Trots nackdelarna och en relativt hög kostnad representerar vakuumisoleringspanelerna ett stort steg fram i utvecklingen av värmeisolerande material.

Vakuumisoleringspaneler anses vara en komplex produkt när det kommer till återvinning, med hänsyn till flerskiktsslamineringen (European Commission, 2005). Panelerna är dock helt återvinningsbara om inga skador eller föroreningar sker under demonteringen. Skulle skivorna vara intakta, kan omslaget separeras från kärnan och på så vis kan delarna var för sig återvinnas (Karami m.fl., 2015).

2.5.5 Isoleringsmaterialens egenskaper

För att lättare jämföra de olika isoleringsmaterialens har dess egenskaper och klimatpåverkan sammanställts i tabell 2.

Tabell 2: Värmeledningsförmåga hos olika isoleringsmaterial samt dess koldioxidutsläpp i byggskedet.

Material	λ -värde [W/mK]	A1-A3 [kgCO ₂ e/kg] Exklusive biogen	A4 [kgCO ₂ e/kg]	A5 [kgCO ₂ e/kg]	Totalt [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Glasull	0.035	1.110	0.0345	0.0803	1.2248	Produktdatablad (Isover, 2020) Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Cellulosa	0.036	0.200	0.0345	0.0549	0.2894	Produktdatabas EPD (ECIA, 2018)
Träfiber	0.038	0.371	0.0345	0.2000	0.6055	EPD (Hunton, 2020)
Hampa	0.040	0.608	0.0011	0.0645	0.6736	EPD (Ekolution, u.å.-a)
PIR	0.022	3.056	0.0084	0.0850	3.1494	EPD (Kingspan, 2023)
Fenolskum	0.021	2.177	0.0085	0.0571	2.2426	EPD (Kingspan, 2021)
VIP	0.0042	11.735	0.0084	0	11.7434	(Brown m.fl., 2020)

2.6 Vindskydd

Vindskyddets funktion är att skydda mot vind samt för att motverka luftströmmar i isoleringen (Strandberg, 2015). Vindskyddet är vanligtvis en gipsskiva för utomhusbruk eller en plastfolie. Dessutom ska vindskyddet fungera som ett tillfälligt skydd av den bakomliggande konstruktionen innan fasadbeklädnaden har monterats. Det måste då klara exponering under tillräckligt lång tid, samt vara motståndskraftigt mot fukt och mögel.

2.7 Ångspärr

Ångspärren förhindrar eventuell fukttransport genom väggen genom diffusion eller konvektion (Strandberg, 2015). Dessutom ser ångspärren till att konstruktionen är lufttät. Detta är viktigt för att de isolerande skikten ska behålla sin funktion. Ångspärren måste vara helt tät, då konstruktionen kan ta skada av hål eller otätheter. Ångspärren är vanligtvis en plastfolie och är placerad mellan den bärande stommen och det inre skiktet med isolering.

2.8 Invändig beklädnad

Den invändiga beklädnaden används främst som underlag för ytskikt, såsom färg, tapet och kakel. Den invändiga beklädnaden kan dessutom beroende på val av material också fungera som ett brandskydd, vilket kan vara avgörande för att väggen skall uppfylla Boverkets byggregler.

2.8.1 Gips

Gipsskivor består av en kärna av gips som omsluts av kartong för att stärka upp skivan (Norgips, u.å.). Det tillsätts även olika medel för att binda ihop skivan och ge den rätt egenskaper. Gipset i skivan kommer från naturligt förekommande gipssten ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), industrigips, samt återanvända gipsskivor. Industrigips framställs genom en avsvälning av rökgaser från förbränning av olja eller kol vid kraftvärmeverk. En obehandlat alternativt målad gipsskiva klassificeras som ett obrännbart material enligt den europeiska standarden (Strandberg, 2015).

Gips är ett 100% återvinningsbart material och flertalet studier visar att det kan återvinnas flera gånger om, utan att förlora sina tekniska egenskaper (Pinheiro & Camarini, 2015). Då det återvunna materialet bibehåller samma egenskaper kan det återanvändas för samma ändamål som det primära materialet.

2.8.2 Fibergips

I Sverige är Fermacell en stor tillverkare av fibergips. De framställer fibergips genom att återvunnet papper löses upp i vatten och blandas ihop med gipspulver (Fermacell, u.å.-b). Massan pressas sedan till en homogen skiva, vilket gör att fibergips inte behöver omslutas av kartong, utan skivan behåller sin styrka även om ytan till viss del skulle skadas. Styrkan som fås av cellulosafibrerna gör att det går att fästa saker direkt i gipsskivan, därför behövs exempelvis ingen OSB-skiva bakom gipset. Detta innebär att endast ett skikt fibergips behövs, där det i normala fall vid användning av vanligt gips behöver monteras två olika skikt. Likt vanligt gips klassificeras fibergips som ett obrännbart material enligt den europeiska standarden och kan fås upp till REI60 (Fermacell, u.å.-a).

Klimatpåverkan från fibergips kan variera mycket beroende på om råvaran är återvunnen eller inte. Enligt Boverkets klimatdatabas har produktionen av fibergips en klimatpåverkan på $7.6 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$. Då boverket inte har specificerat att råvaran är återvunnen antas den därför vara primär. NIRAS (u.å.) har utfört en utvärdering av Fermacells fibergips, vilken är till stor del baserad på återvunnen råvara. Endast 15% av gipset i skivorna är naturgips, resten är retur-gips (15%) samt industriellt gips (70%)

(Fermacell, 2015). Allt pappersfiber som används är återvunnet. Klimatpåverkan blir då 1.2 kg CO₂e/ m², vilket är det värde som använts i beräkningarna i den här rapporten (Niras, u.å.). I slutet av fibergipsets livscykel kan det sedan återanvändas vid tillverkningen av nya fibergipsskivor (Fermacell, 2015).

2.8.3 OSB

OSB står för Oriented Strand Board och tillverkas genom att långa träspån limmas ihop under ett högt tryck och hög värme (TräGuiden, 2017). Träspånen som används kommer främst från barrträd eller lövträd och är generellt en restprodukt från sågverken. OSB-skivor av återvunnet material är fortfarande ovanligt men forskning har visat att majoriteten av de primära träpartiklarna kan ersättas med återvunna, utan att skivan förlorar sina byggnadsfysikaliska egenskaper (Nguyen m.fl., 2023).

Produktionen av OSB-skivor har enligt Boverkets klimatdatabas en klimatpåverkan på ungefär 3.0 kg CO₂e/m². Sverige har ingen egen produktion av OSB, vilket leder till att Sverige importerade över 121 000 m³ OSB år 2021 (FAO, u.å.). Det land som exporterar mest OSB är Kanada, vilket leder till långa transporter som kan ha en stor negativ miljöpåverkan. När skivan har förbrukats kan den brytas ner för att frigöra träfiber som senare kan användas vid produktion av andra träbaserade material (Kües, 2007).

2.8.4 Byggskiva av återvunna förpackningar

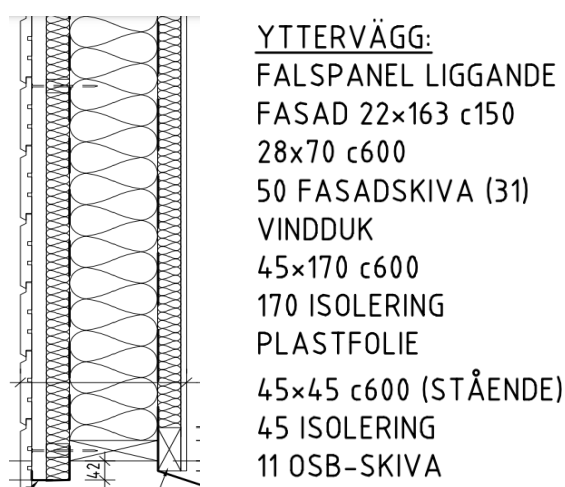
Företaget Recoma tillverkar en byggskiva som består av 100% återvunnet material (Recoma, u.å.). Skivorna produceras genom att kompositförpackningar mals ner och pressas samman. Denna process använder inget vatten eller tillsatser och eftersom hela kompositförpackningarna används genererar tillverkningen inte heller något avfall. I traditionell återvinning av förpackningarna separeras pappret från det skikt av plast eller aluminium som finns i förpackningarna, vilket är en resurskrävande process. I Recomas byggskivor används i stället allt material, plasten fungerar som en vattenskyddande yta och binder ihop kartongbitarna och de reflekterande egenskaperna som aluminiumet har bidrar till att skivan har en högre isoleringsförmåga. Recoma är dessutom 100% återvinningsbara, då de enkelt kan malas ner och pressas samman till nya skivor igen.

3 Metod

Med den fördjupade kunskapen från teorin har A-hus' befintliga ytterväggar undersökts, olika materialkombinationer jämförts och analyserats samt nya väggar konstruerats.

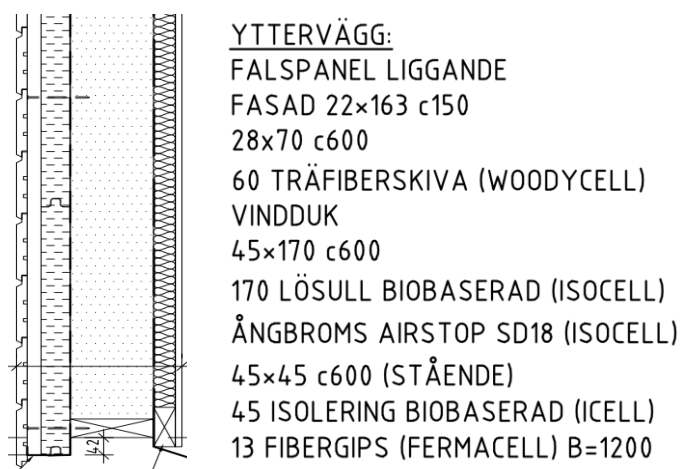
3.1 Befintliga väggar

A-hus standardvägg är en välisolerad 3-skiktswägg med god energiprestanda vilken kan ses i figur 4 (A-hus, u.å.-a). Designen är väl genomtänkt där plastfoliens placering ger en god lufttätet och möjliggör installationer utan att bryta tätskiktet. Det utvändiga, obrutna isoleringsskiktet ger minimalt med köldbryggor och säkerställer en fuktskyddad stomme.



Figur 4: Uppbyggnad av A-hus' standardvägg (Derome Husproduktion AB, 2015)

Väggens uppbyggnad i A-hus' forsknings- och utvecklingsprojekt Klivet påminner mycket om den vanliga standardväggen, men är byggd av mer klimatsmarta material vilket visas i figur 5. Mineralullen har bland annat bytts ut mot biobaserad isolering och den invändiga beklädnaden består nu av en fibergipskiva i stället för OSB och gips.



Figur 5: Uppbyggnad av A-hus' projektvägg Klivet (Derome Husproduktion AB, 2022).

3.2 Beräkningar

För att möjliggöra jämförelser mellan olika väggtyper, görs beräkningar av värmemotstånd, ånggenomgångsmotstånd samt utsläpp av koldioxidekvivalenter. Dessutom beräknas den optimala isoleringstjockleken ur en ekonomisk och ekologisk synpunkt.

3.2.1 Värme

För att beräkna värmeflödet genom konstruktionen beräknas varje enskilt skikts värmemotstånd R_i enligt ekvation 1.

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (1)$$

där

d_i är skiktets tjocklek [m]

λ_i är skiktets värmeledningsförmåga [W/mK]

I de inhomogena skikten med regler och isolering har ett sammanlagt värmemotstånd, λ_{AB} , beräknats med hjälp av ekvation 2.

$$\lambda_{AB} = p_A * \lambda_A + p_B * \lambda_B \quad [\text{W/mK}] \quad (2)$$

där

p_A är andelen av material A i skiktet [m^2/m^2]

p_B är andelen av material B i skiktet [m^2/m^2]

λ_A är värmeledningsförmåga för material A [W/mK]

λ_B är värmeledningsförmåga för material B [W/mK]

För att sedan beräkna väggens totala värmemotstånd, R_T , summeras alla de enskilda och sammanlagda värmemotstånden enligt ekvation 3. Utöver materialskiktens värmemotstånd tillkommer även ett värmeövergångsmotstånd vid ytor som vetter mot luft. Därför adderas även ett inre och ett yttre övergångsmotstånd, R_{si} respektive R_{se} .

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (3)$$

där

$R_{si} = 0,13\text{m}^2\text{K/W}$

$R_{se} = 0,04\text{m}^2\text{K/W}$

När det totala värmemotståndet är beräknat fås väggens totala värmeledningkoefficient, U , genom att invertera det totala värmemotståndet enligt ekvation 4.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (4)$$

3.2.2 Fukt

För att beräkna fukttransporten har endimensionella flöden samt stationära förhållanden antagits, vilket är en förenkling av verkligheten (Petersson, 2015). Väggarna har setts som flerskiktsskonstruktioner med flera homogena materialskikt.

Beräkningarna har gjorts de månader då förhållandena är som mest kritiska. Dessa månader är februari, då det är kallast och torrast, samt juli då det är varmast och fuktigast (Petersson, 2015). Fukthalten inomhus är vanligtvis 20–40%, men Swegon rekommenderar den att vara 30–60% (Swegon, 2022). Luftfuktigheten för beräkningarna har därför antagits vara 35%. Folkhälsomyndigheten (2014) rekommenderar att den operativa temperaturen inomhus är mellan 20–23°C, därför har 22°C använts som inomhustemperatur i beräkningarna. Övriga klimatdata har hämtats från ”Tillämpad byggnadsfysik” (Petersson, 2015). De antagna klimatförutsättningarna redovisas i tabell 3.

Tabell 3: Antagna klimatförutsättningar.

	Inomhus	Utomhus (Februari)	Utomhus (Juli)
Temperatur [°C]	22	-1.2	17.5
Relativ fuktighet [%]	35	82	73
Absolut ånghalt [g/m ³]	6.73	3.4	10.8

För att ta reda på temperaturfördelningen i konstruktionen beräknas först temperaturen mellan varje skikt, T_x , på avståndet x in i konstruktionen enligt ekvation 5.

$$T_x = T_{x-1} + \frac{R_i}{R_T} * (T_i - T_e) \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

där

T_i = Temperatur inomhus [°C]

T_e = Temperatur utomhus [°C]

T_{x-1} = Temperaturen i skiktet innan [°C]

Med hjälp av temperaturfördelningen kan mätnadsånghalten mellan varje skikt, $v_{s,x}$, beräknas med hjälp av ekvation 6.

$$v_{s,x} = \frac{1.32}{T_x + 273} * ((1 + 0.02) * T_x)^4 \quad [\text{g/m}^3] \quad (6)$$

För att kunna beräkna konstruktionens ånghaltsfördelning beräknas skiktens ångegenomgångsmotstånd, Z_i , enligt ekvation 7.

$$Z_i = \frac{d_i}{\delta_i} \quad [\text{s/m}] \quad (7)$$

där

d_i är skiktets tjocklek [m]

δ_i är skiktets ånggenomsläpplighet [m^2/s]

Därefter har det totala ånggenomgångsmotståndet, Z_T , beräknats enligt ekvation 8.

$$Z_T = Z_{si} + \Sigma Z_i + Z_{se} \quad [\text{s/m}] \quad (8)$$

där

$Z_{si} = 360 \text{s/m}$

$Z_{se} = 60 \text{s/m}$

Med hjälp av ånggenomgångsmotstånden och de olika ånghalterna kan ånghaltsfördelningen, v_x , i konstruktionen beräknas med hjälp av ekvation 9. Därefter kan den beräknade ånghalten jämföras med mätnadsånghalten för att avgöra om risk för kondens förekommer i konstruktionen. Den absoluta ånghalten i skikten bör vara lägre än mätnadsånghalten för att ej riskera kondens.

$$v_x = v_{x-1} + \frac{Z_i}{Z_T} * (v_i - v_e) \quad [\text{g/m}^3] \quad (9)$$

där

$v_i =$ Absolut ånghalt inomhus [g/m^3]

$v_e =$ Absolut ånghalt utomhus [g/m^3]

$v_{x-1} =$ Absolut ånghalt i skiktet innan [g/m^3]

När ånghaltsfördelningen beräknats kan även den relativa fuktigheten, RF, beräknas med hjälp av ekvation 10. Värdet kontrolleras sedan mot det kritiska fukttillståndet för väggen vid olika temperaturer, vilket beskrivs i kapitel 2.1.2.

$$RF = \frac{v_x}{v_s} * 100 \quad [\%] \quad (10)$$

3.2.3 Klimatpåverkan

Vid beräkning av klimatpåverkan har främst byggprocessens klimatpåverkan studerats, där framställning av råmaterial, tillverkning av produkt, transport och spill från arbetsplatsen vägs in. Vid optimering av isolering har även klimatpåverkan från energianvändning tagits hänsyn till. Med hjälp av Boverkets klimatdatabas samt produkters miljövarudeklarationer, EPD (Environmental Product Declaration), har de olika väggtypernas klimatpåverkan kunnat beräknas. De material vars påverkan har inkluderats är vindduk, träreglar, isolering, ångspärr samt invändig beklädnad. Klimatpåverkan definieras generellt som kilogram koldioxidekvivalenter per kilogram material [$\text{kgCO}_2\text{e/kg}$]. Detta värde tas fram för varje material samt multipliceras med materialets densitet och skiktets tjocklek för att få klimatpåverkan som kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter väggyta [$\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$].

För att kunna tillgodoräkna den biogena koldioxiden i klimatpåverkan bör livslängden för materialet vara längre än den tid det tar för råvaran att växa. Den avsedda livslängden för A-hus' byggnader och inkluderade material är 50 år. Vid jämförelse av väggtyperna tas inte materialets biogena koldioxid i beaktning om dess tillväxtperiod är längre än byggnadens avsedda livslängd. Tall har en tillväxttid på 60–100 år (Skogsstyrelsen, 2023), vilket är längre än den beräknade livslängden för husen från A-hus. Därför är den biogena koldioxiden i trämaterialen inte tillgodoräknade i beräkningarna. Däremot räknas den biogena koldioxiden med i hampaisolering då tillväxttiden för hampa bara är 150 dagar.

3.2.4 Ekonomisk- & ekologisk optimering av isolering

För att hitta den optimala väggen har olika kombinationer av isoleringsmaterial analyserats, kombinationerna visas i tabell 4. En kvadratmeter av väggens isolering har ställts i relation till den initiala kostnaden och koldioxidutsläppen, samt de kostnader och utsläpp som sker till följd av energiförluster genom väggen. Optimeringen baseras på isoleringens tjocklek och tar inte hänsyn till resterande väggkomponenter. Denna metod är en förenklad modell då olika byggnadsfysikaliska förhållanden ej tagits hänsyn till, såsom luftfuktighet, inomhustemperatur och solenergi.

Kombinationerna har utgått från de olika materialens standardtjocklekar där uppbyggnaden är en fasadskiva av material 1 och resterande isolering är av material 2. Då majoriteten av isoleringen består av material 2 är det viktigt att det materialet har en låg klimatpåverkan. Till följd av detta har endast biobaserade isoleringsmaterial valts i det här materialskiktet. Träfiber har inte undersökts i detta skikt då det har en högre klimatpåverkan än både hampa och cellulosa. För att skapa förslag som är helt biobaserade har träfiberisolering använts som material 1. Orsaken till att varken hampa eller cellulosa har använts i detta materialskikt är att de i dagsläget inte produceras fasadskivor av de här materialen. För att minska kostnaderna, samt minska den totala isoleringstjockleken har det även analyserats förslag med fasadskiva av glasull. Glasull är både billigare och har en bättre värmeisoleringsförmåga än de biobaserade motsvarigheterna. Som material 1 har även högpresterande isoleringsmaterial undersökts eftersom de med sin låga värmeledningsförmåga möjliggör tunna skivor. Dessa är ofta styva och väderbeständiga och lämpar sig därför som fasadskivor.

Tabell 4: Analyserade isolerings kombinationer.

Isolerings-kombination	Material 1	Material 2
Standard	Glasull	Glasull
Klivet	Träfiber	Cellulosa
A	Träfiber	Hampa
B	VIP	Cellulosa
C	PIR	Hampa
D	PIR	Cellulosa
E	Fenolskum	Hampa
F	Fenolskum	Cellulosa
G	Glasull	Cellulosa
H	Glasull	Hampa

Väggens energiförluster är beräknat med hjälp av ekvation 11 vilket baseras på väggens U-värde samt värmegradsdagar i Sverige, år 2023. Värmegradsdagar har använts för att uppskatta uppvärmningsbehovet, vilket baseras på de dagar då dygnsmedeltemperaturen är under 17 °C.

$$Q = U * D * \left(\frac{24}{1000}\right) * 50 \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (11)$$

där

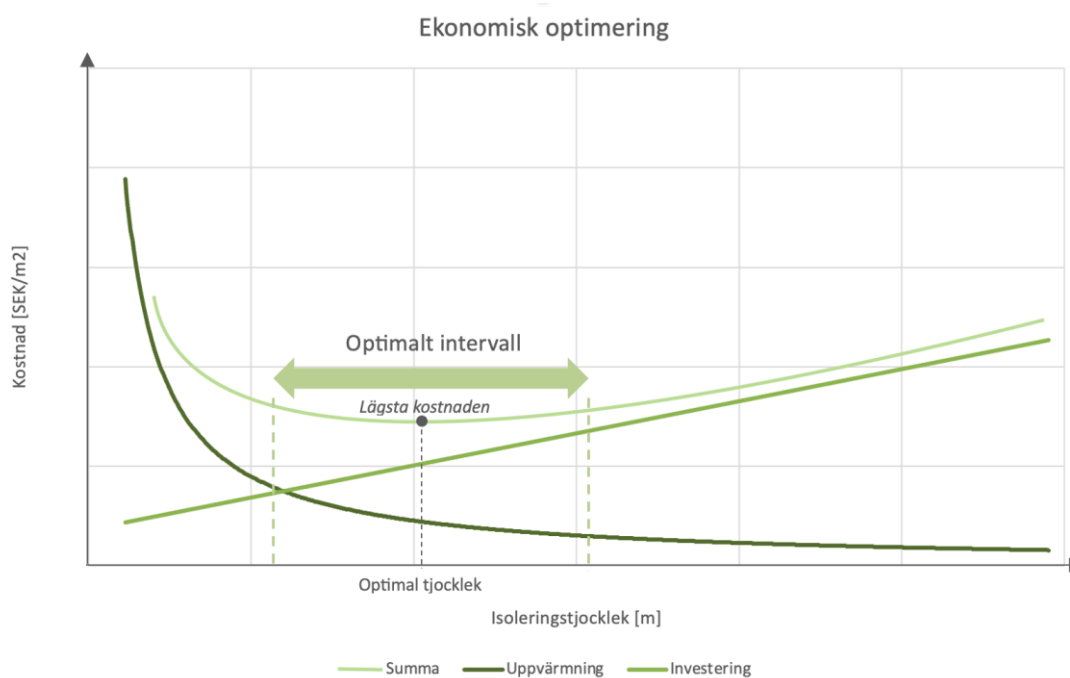
U= värmegenomgångskoefficient [W/m²K]

D= Värmegradsdagar [°C dag]

Vidare har en uppskattad uppvärmningskostnad beräknats. Uträkningen har baserats på uppvärmning med frånluftsvärmepump, då det är vad majoriteten av A-hus' kunder väljer att installera. För att få fram energibehovet divideras väggens energiförluster med värmepumpens SCOP-värde, Seasonal Coefficient of Performance, vilket är ett mått på värmepumpens verkningsgrad. För att få uppvärmningskostnaden multipliceras sedan energibehovet med elpriset. Göteborg ligger i elområde 3 vilket 2022 hade ett genomsnittspris på 2.1kr/kWh (Energimarknadsinspektionen, 2023).

För att sedan få fram investeringskostnaden har kalkylprogrammet Bidcon (ElecoSoft, 2022) använts för alla material, förutom vakuumpaneler och fenolskum eftersom de saknades i programmet. Priset för vakuumpaneler är svårt att fastställa då det är relativt ovanligt att använda i väggar. Priset som har använts är taget från en vetenskaplig artikel av Simões m.fl. (2021). En rekommenderad prisskillnad mellan fenolskum och PIR har använts för att ta fram pris på fenolskum (Tornberg, 2023). Priset från Bidcon inkluderar materialkostnad samt montage, och därefter har det lagts på moms för att få fram den totala investeringskostnaden. Montagekostnad för vakuumpanelerna samt fenolskummet har antagits vara likvärdigt de övriga högpresterande isoleringsmaterialen. De investeringskostnader som har använts redovisas i bilaga 2.

Uppvärmningskostnad, investeringskostnad samt summan av de två ritas in i diagram i relation till isoleringstjocklek, se figur 6. Den ekonomiskt optimala isoleringstjockleken är den tjocklek där den totala kostnaden (summan) är som lägst.

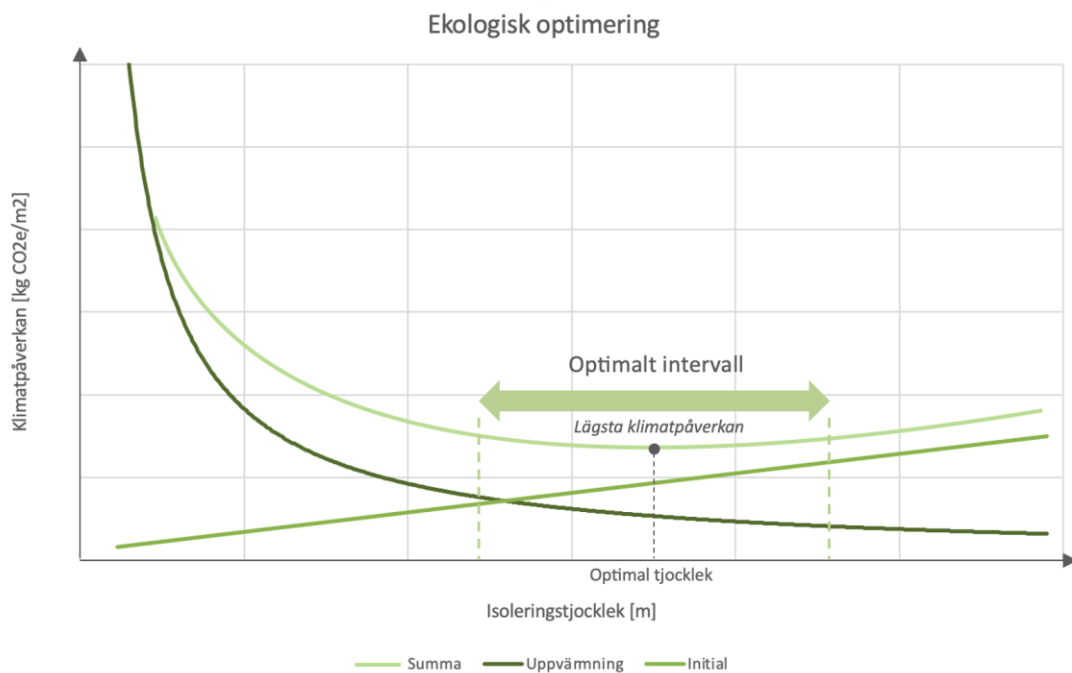


Figur 6: Konceptuellt diagram över relation mellan isoleringstjocklek och kostnad.

Beräkning av den ekologiskt optimala tjockleken har gjorts på liknande sätt som vid den ekonomiska optimeringen. För att få fram klimatpåverkan från uppvärmning, har väggens energiförluster multiplicerats med koldioxidutsläppsfaktorn för el, vilket enligt Boverkets klimatdatabas (2023e) är 0.037 kg CO₂e/kWh. Den initiala klimatpåverkan som sker till följd av materialproduktion, transport och montage räknas ut för de olika tjocklekarna med hjälp av Boverkets klimatdatabas samt enskilda materials EPD.

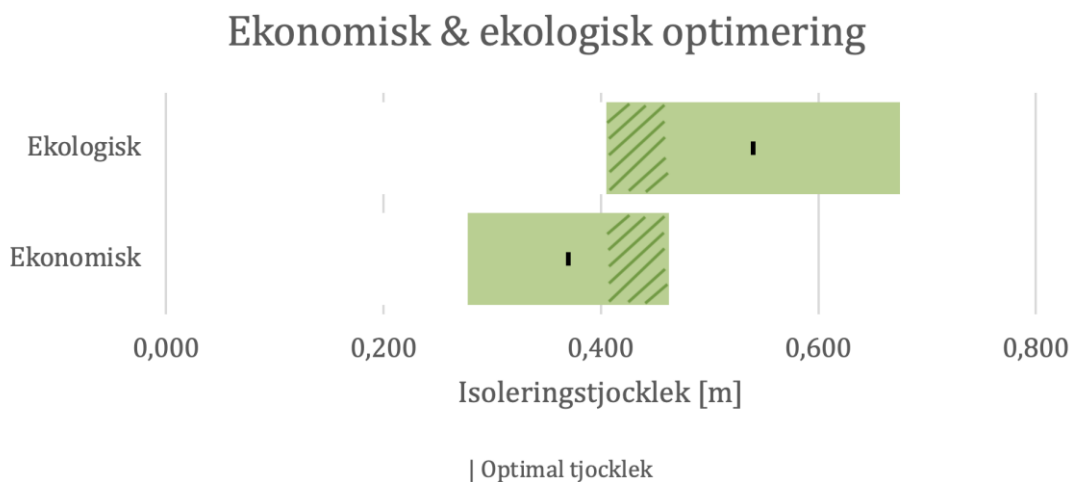
För att hitta den optimala isoleringstjockleken för materialkombinationer med hampa har den biogena koldioxiden exkluderats. Detta eftersom klimatpåverkan annars minskar mot oändligheten och det går då inte att få fram en optimal tjocklek. Den biogena koldioxiden tas hänsyn till i senare jämförelser.

Klimatpåverkan från uppvärmning, initialt och totalt har ritats in i diagram i relation till isoleringstjocklek, se figur 7. Den ekologiskt optimala tjockleken fås vid den punkt där totala påverkan är lägst.



Figur 7: Konceptuellt diagram över relation mellan isoleringstjocklek och klimatpåverkan, samt det optimala intervallet.

För att ta fram den optimala isoleringstjockleken ur både ett ekonomiskt och ekologiskt perspektiv har ett procentuellt intervall tagits fram baserat på de optimala isoleringstjocklekarna, se figur 8. De procentuella intervallen är olika stora för de olika isoleringskombinationerna då intervallen har gradvis ökat till dess att en överlappning sker. Därefter har en optimal isoleringskombination och tjocklek valts från det område där intervallen överlappar. Då två olika material med standardiserade tjocklekar har analyserats finns inget linjärt samband inom området. Detta innebär att det finns flera möjliga kombinationer av tjocklekar och en egen bedömning har krävts för att välja den optimala isoleringskombinationen. För att välja den kombination som anses vara mest optimal har låg klimatpåverkan prioriterats, men för att få fram den ekonomisk- och ekologiskt optimala kombinationen har även hänsyn till kostnaden tagits.



Figur 8: Konceptuellt diagram för att ta fram den optimala isoleringstjockleken. Den optimala kombinationen finnes i det markerade området.

3.3 Utformning av nya väggar

Vidare har resultatet från den ekonomiska och ekologiska optimeringen använts för att konstruera två nya väggförslag, ett optimalt väggförslag och ett förbättringsförslag till A-hus. Förslaget till A-hus har tagits fram med hjälp av olika begränsningar. Isoleringtjocklekarna ska vara samma som i standardväggen, alternativt att investeringskostnaden för isoleringen är maximalt 10% dyrare än standardväggen. Detta eftersom en ny uppbyggnad kan innebära dyrare regler och en eventuell investering i nya maskiner eller infästningsmaterial. Ytterligare ett krav är att väggalternativens koldioxidutsläpp inte får vara högre än 36.1 kgCO₂e/m² vilket är det värde som standardväggen har. Av de isoleringskombinationer där dessa antaganden inte uppfyllts har inga förslag till A-hus tagits fram.

Utformningen av väggarna har antagits vara samma som den typiska vägguppbyggnaden i kapitel 2.3. Fibergips har valts som invändig beklädnad då det ger en lägre klimatpåverkan än om det skulle vara ett skikt med OSB och ett med gips. Byggskivan av återvunna förpackningar har en lägre klimatpåverkan än fibergips, men anledningen till att detta inte valdes som invändig beklädnad är brandsäkerheten. I samband med projektet Klivet diskuterade A-hus möjligheten att använda byggskivan på deras ytterväggar, men då det var osäkerheter kring materialets brandsäkerhet valdes det att inte montera byggskivan på ytterväggarna. Beslut om val av invändig beklädnad har tagits med hjälp av tabell 5.

Tabell 5: Initial klimatpåverkan för de analyserade invändiga beklädnadsmaterialen.

Invändig beklädnad	Initial Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ²]	Källa
OSB + Gips	7	(Baubook, 2013; Boverket, 2023d)
Fibergips	3.5	(Niras, u.å.)
Byggskiva av återvunna förpackningar	1.1	(Recoma, 2022)

Efter att ha utformat nya väggförslag har dessa väggar jämförts med A-hus befintliga träregelväggar ur en kostnad- och klimatsynpunkt. Prisskillnaden för de slutgiltiga väggförslagen i relation till A-hus' befintliga väggar har tagits fram av A-hus.

4 Resultat

Nedan följer resultat från de beräkningar och analyser som gjorts under kapitel 4.

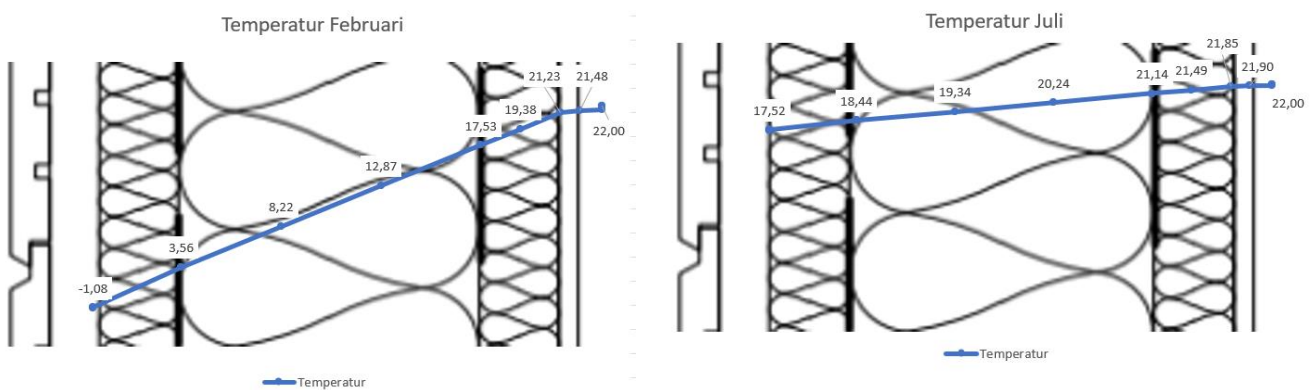
4.1 Analys av A-hus' befintliga väggar

A-hus' befintliga väggars värmegenomgångskoefficient har beräknats enligt kapitel 3.2.1 och redovisas i tabell 6.

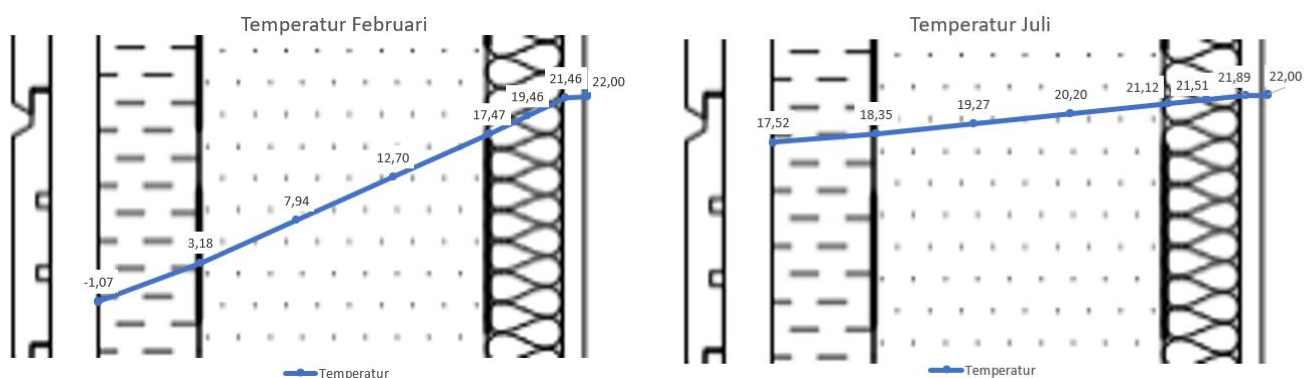
Tabell 6: Beräknat värmemotstånd hos A-hus' befintliga väggtyper.

	U-värde [W/m ² K]
Standard	0.148
Klivet	0.163

Temperaturfördelning i de befintliga väggarna har beräknats och redovisas i figur 9 och 10.



Figur 9: Temperaturfördelning i standardvägg under februari och juli.



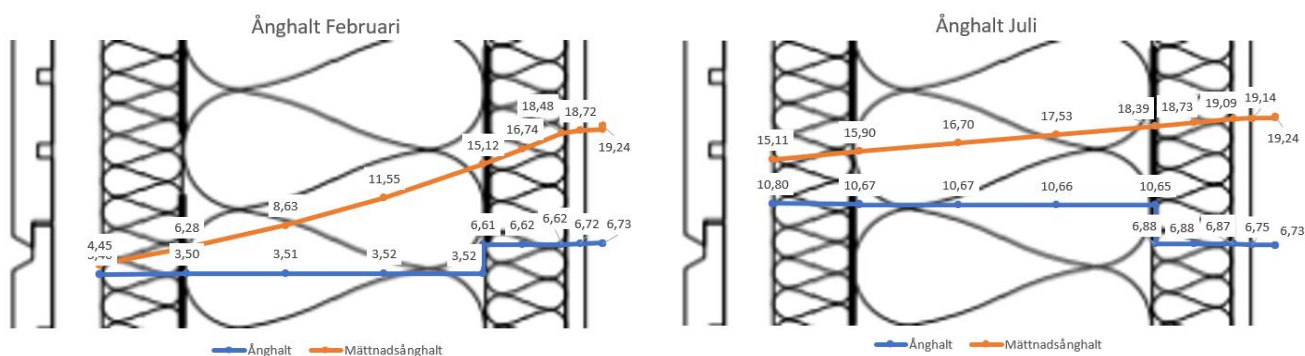
Figur 10: Temperaturfördelning i Klivet-vägg under februari och juli.

De befintliga väggarnas ånggenomgångsmotstånd har beräknats enligt 3.2.2, resultatet redovisas i tabell 7.

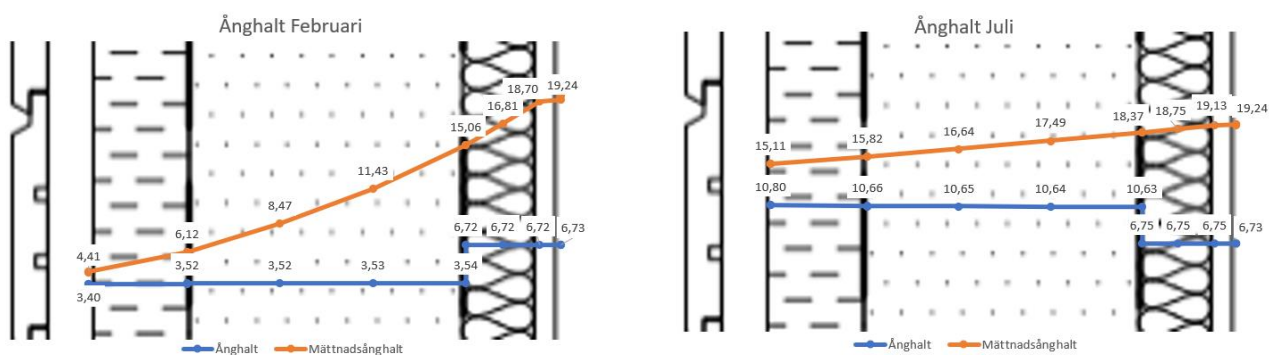
Tabell 7: Beräknat ånggenomgångsmotstånd hos A-hus' befintliga väggtyper.

	Z-värde [s/m]
Standard	1 186 000
Klivet	1 153 000

Vidare har ånghalts- och mätnadsånghaltsfördelningen i de befintliga väggarna beräknas och redovisas i figur 11 och 12.

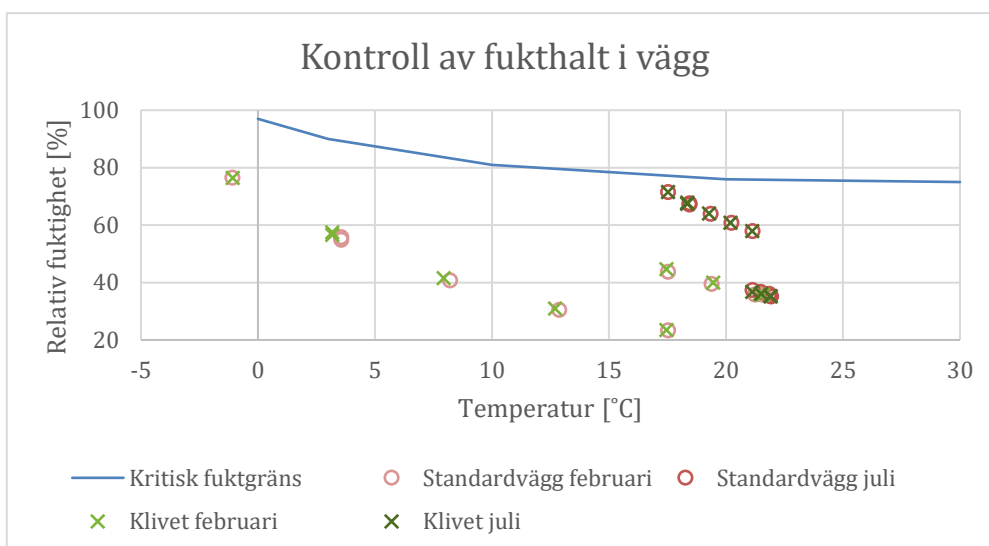


Figur 11: Ånghaltsfördelning i standardvägg under februari och juli.



Figur 12: Ånghaltsfördelning i Klivet-vägg under februari och juli.

Den relativa fuktigheten i väggen har kontrollerats mot den kritiska fukthalten enligt kapitel 3.2.2. Resultatet redovisas i figur 13 och då den relativa fuktigheten alltid är lägre än det kritiska fuktillståndet finns det inte risk för skador i konstruktionen.

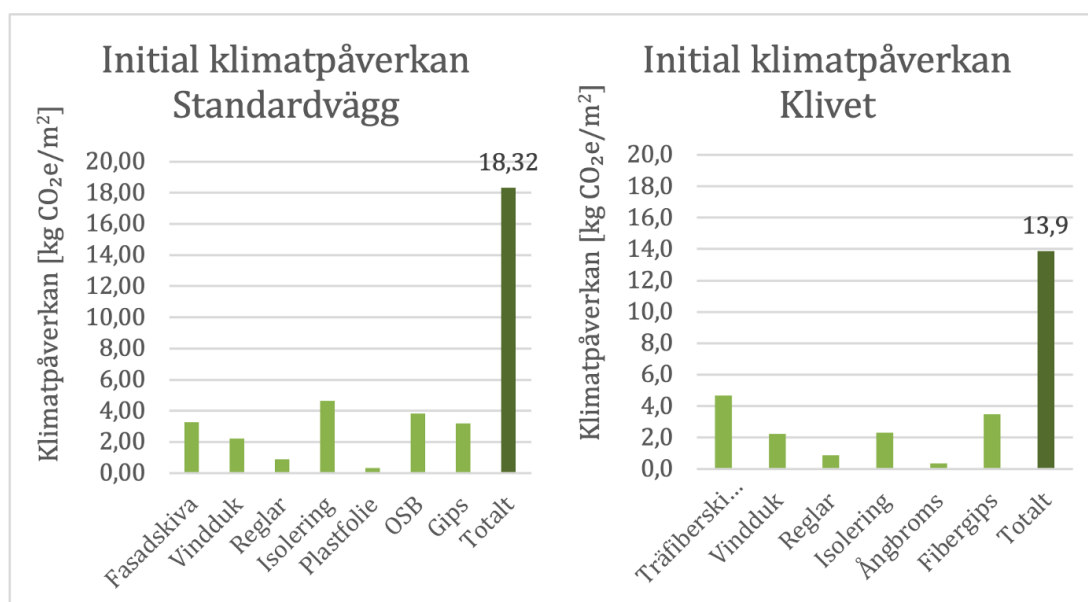


Figur 13: Kontroll av fukthalt i vägg

De befintliga väggarnas initiala klimatpåverkan har beräknats enligt 3.2.3 och redovisas i tabell 8 och figur 14.

Tabell 8: Initial klimatpåverkan beräknad för A-hus' befintliga väggtyper.

Klimatpåverkan [kg CO ₂ e/m ²]	Produktion A1-A3	Transport A4	Byggspill A5	Totalt A1-A5
Standard	15.74	1.05	1.53	18.32
Klivet	10.04	2.07	1.78	13.88



Figur 14: De olika materialens och den totala initiala klimatpåverkan för A-hus' två väggtyper.

4.2 Ekonomisk och ekologisk optimering av isolering

I tabell 9 visas en sammanställning av resultatet från de beräkningar som gjorts i kapitel 3.2.4. Den isoleringskombination som är mest optimal av förslagen är den där isoleringen består av 370mm glasull och cellulosa. Detta eftersom den har lägst klimatpåverkan och relativt låg kostnad i jämförelse med de andra väggförslagen. Vidare har förslag för A-hus tagits fram, vilka kan ses i tabell 10. Det förslag som anses vara mest optimalt för A-hus består av 270mm glasull och cellulosa. Detta förslag har valts då investeringskostnaden ligger inom 10%-marginalen, klimatpåverkan är låg, samt att isoleringstjockleken endast är 5mm tjockare än deras standardvägg.

Tabell 9: Resultat ekonomisk och ekologisk optimering.

Materialkombination	Tjocklek	U-värde	Inv. kostnad	Total kostnad	Klimatpåverkan exkl. biogen	Klimatpåverkan inkl. biogen	Optimeringsintervall
	[m]	[W/m ² K]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[%]
Glasull (Standard)	0.390	0.09	497	729	30.3	30.3	30
Cellulosa (Klivet)	0.380	0.10	619	875	27.6	27.6	60
VIP & Cellulosa	0.190	0.11	219	497	64.5	64.5	80
PIR & Hampa	0.270	0.13	769	1108	37.8	28.2	65
PIR & Cellulosa	0.315	0.10	605	879	29.9	29.9	65
Fenolskum & Hampa	0.245	0.14	786	1150	39.2	30.7	60
Fenolskum & Cellulosa	0.365	0.09	731	968	26.6	26.6	75
Träfiber & Hampa	0.280	0.14	755	1116	38.6	37.0	55
Glasull & Cellulosa	0.370	0.10	568	821	26.3	26.3	60
Glasull & Hampa	0.295	0.13	751	1098	36.8	33.6	55

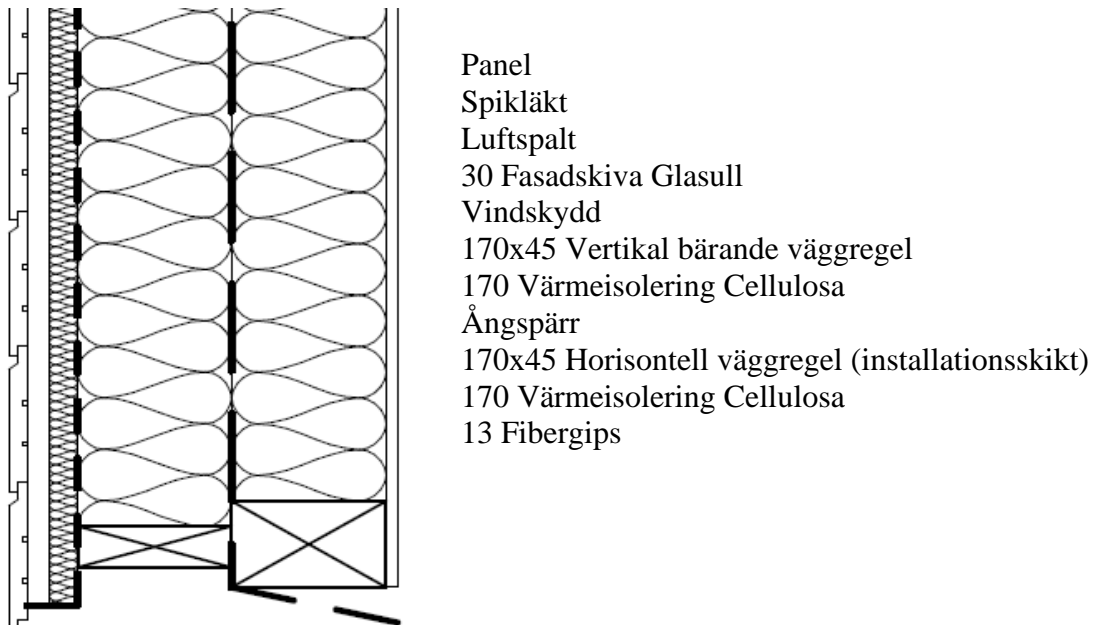
Tabell 10: Förslag på isoleringskombination till A-hus baserat på den ekonomiska och ekologiska optimeringen.

Materialkombination	Tjocklek	U-värde	Inv. kostnad	Total kostnad	Klimatpåverkan exkl. biogen	Klimatpåverkan inkl. biogen
	[m]	[W/m ² K]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]
Glasull (Standard)	0.290	0.12	432	743	34.4	34.4
PIR & Hampa	0.265	0.13	771	1115	38.2	28.7
PIR & Cellulosa	0.265	0.12	552	871	33.2	33.2
Fenolskum & Hampa	0.265	0.13	824	1164	37.8	28.3
Fenolskum & Cellulosa	0.265	0.12	605	920	32.0	32.0
Glasull & Cellulosa	0.265	0.13	518	865	34.0	34.0
Glasull & Cellulosa	0.270	0.13	455	800	32.8	32.8

- Samma väggupbyggnad som Standard
- Max +10% i inv. kostnad
- Bästa förslaget till A-hus

4.3 Optimalt väggförslag

Med hjälp av resultatet från den ekonomiska och ekologiska optimeringen av isolering har ett optimalt väggförslag tagits fram, vilket visas i figur 15.



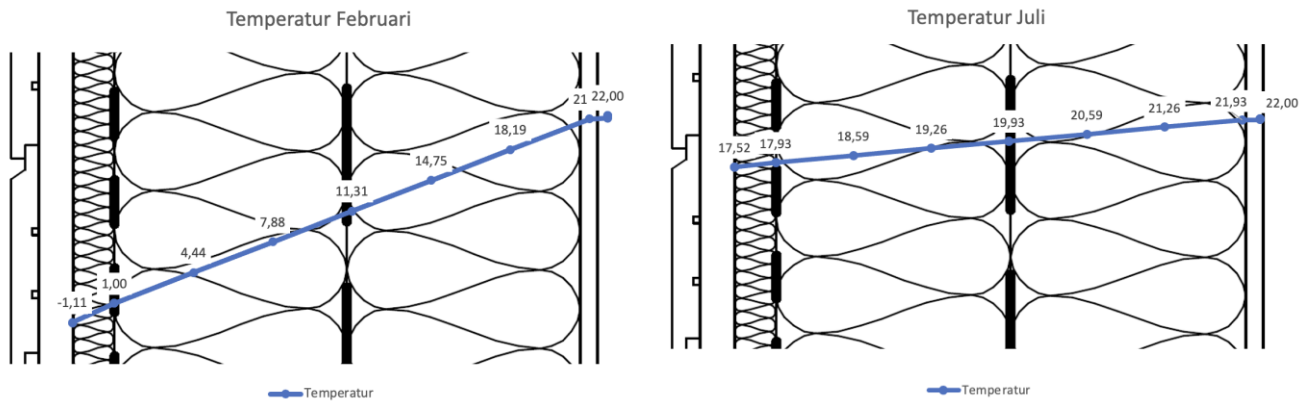
Figur 15: Uppbyggnad optimalt väggförslag.

Det optimala väggförslagets U-värde, Z-värde samt klimatpåverkan har beräknats enligt kapitel 3.2. Beräkningsresultatet redovisas i tabell 11.

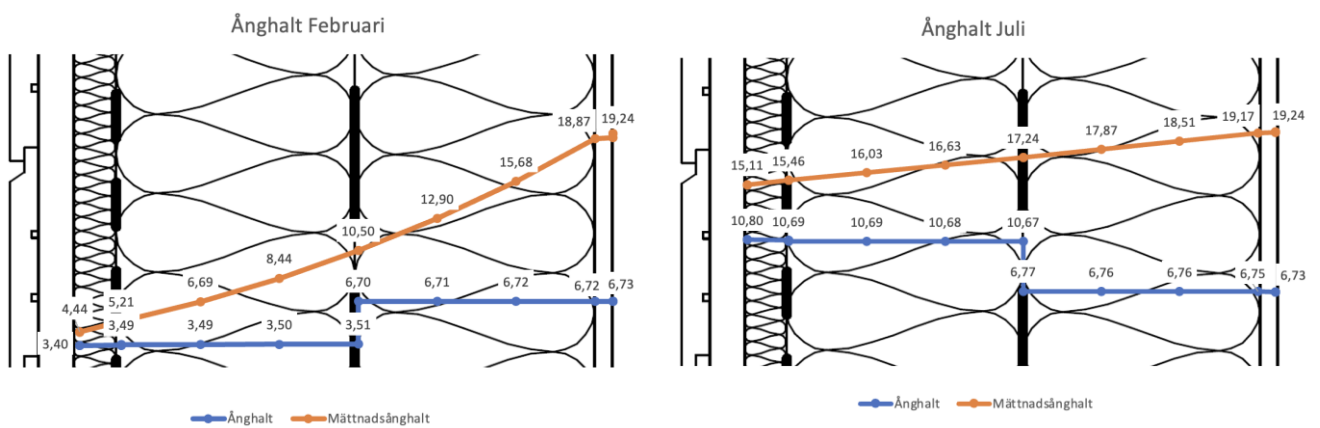
Tabell 11: Beräkningsresultat för det optimala väggförslaget.

Tjocklek	U-värde	Z-värde	Initial klimatpåverkan	Klimatpåverkan inkl. uppvärmning
[m]	[W/m ² K]	[s/m]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]
0.383	0.114	1 148 198	12.65	33.65

Temperatur- och fukttransport i det optimala väggförslaget har beräknats enligt kapitel 3.2.2 och visas i figur 16 och 17.

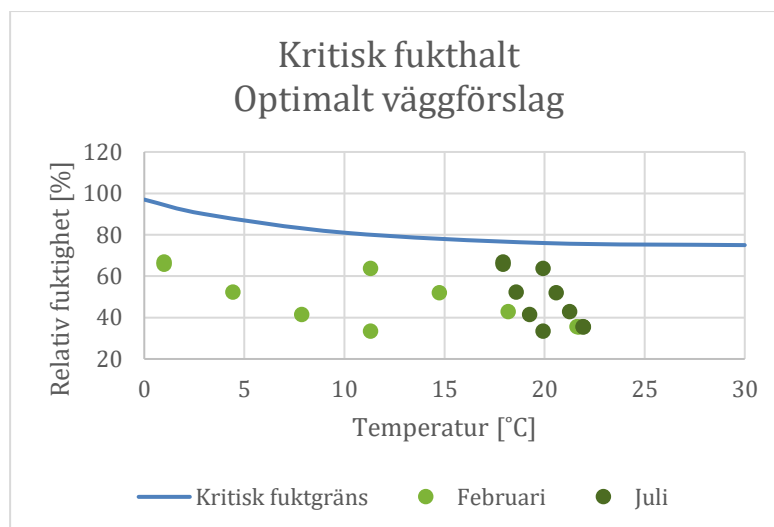


Figur 16: Temperaturfördelning i det optimala väggförslaget under februari och juli.



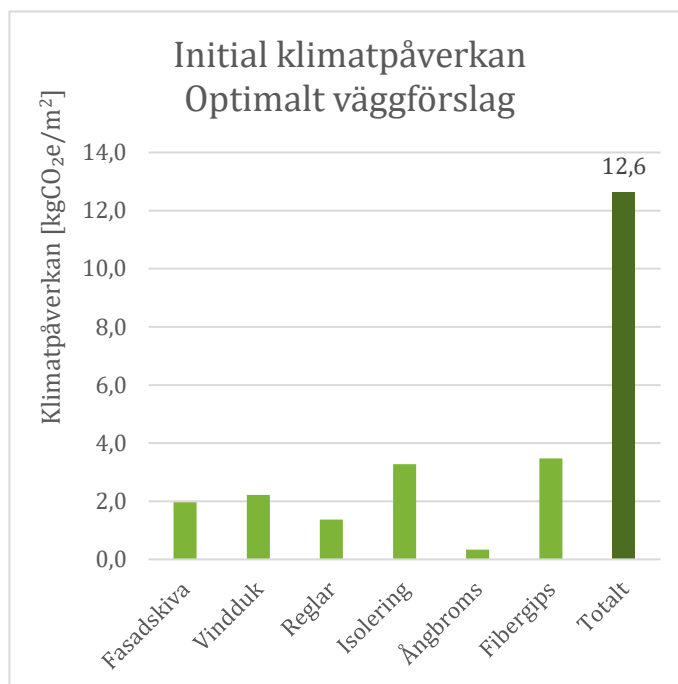
Figur 17: Ånghaltsfördelning i det optimala väggförslaget under februari och juli.

Den relativa fuktigheten i väggen har kontrollerats mot den kritiska fukthalten enligt kapitel 3.2.2, vilket redovisas i figur 18.



Figur 18: Kontroll av fukthalt i det optimala väggförslaget.

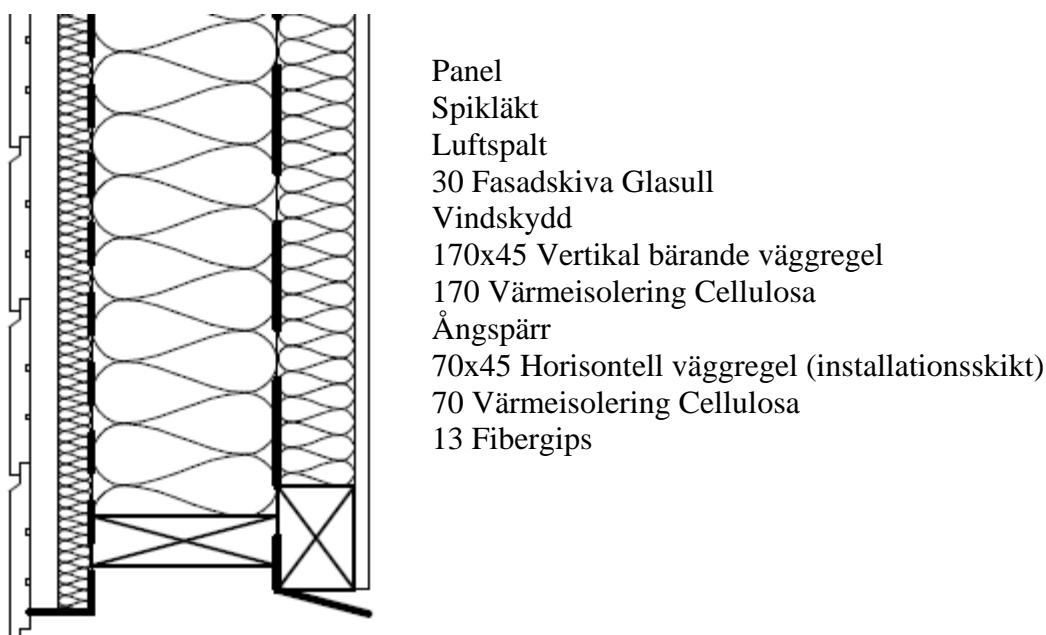
Det optimala väggförslagets initiala klimatpåverkan har beräknats enligt kapitel 3.2.3 och visas i figur 19.



Figur 19: De olika materialens och den totala initiala klimatpåverkan för det optimala väggförslaget.

4.4 Väggförslag till A-hus

Med hjälp av resultatet från den ekonomiska och ekologiska optimeringen av isolering har ett optimalt väggförslag till A-hus tagits fram, vilket visas i figur 20.



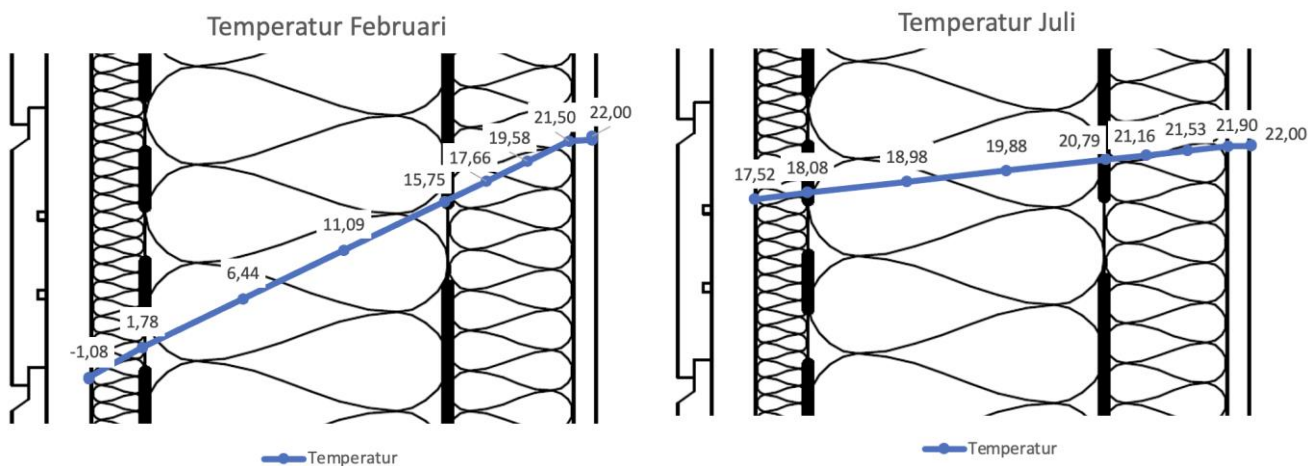
Figur 20: Uppbyggnad väggförslag till A-hus.

Beräkningar enligt kapitel 3.2 har sedan gjort på det optimala väggförslaget till A-hus. Beräkningsresultatet visas i tabell 12.

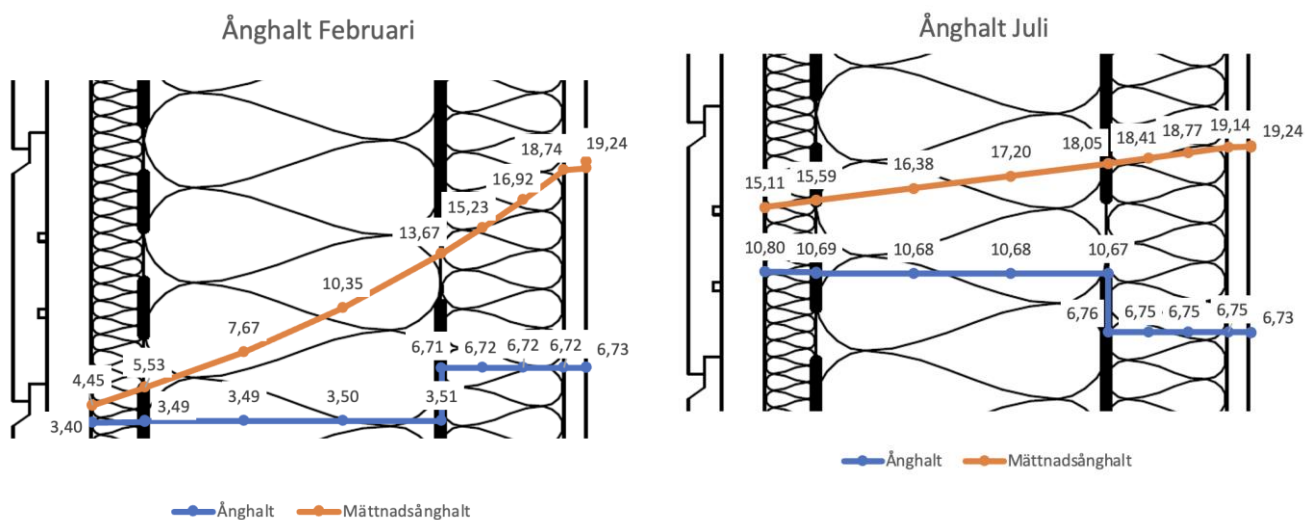
Tabell 12: Beräkningsresultat för väggförslag till A-hus.

Tjocklek	U-värde	Z-värde	Initial klimatpåverkan	Klimatpåverkan inkl. uppvärmning
[m]	[W/m ² K]	[s/m]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]
0.283	0.154	1 144 031	11.28	39.28

I figur 21 och 22 visas temperaturfördelningen samt ånghaltsfördelningen för väggförslaget i februari och juli.

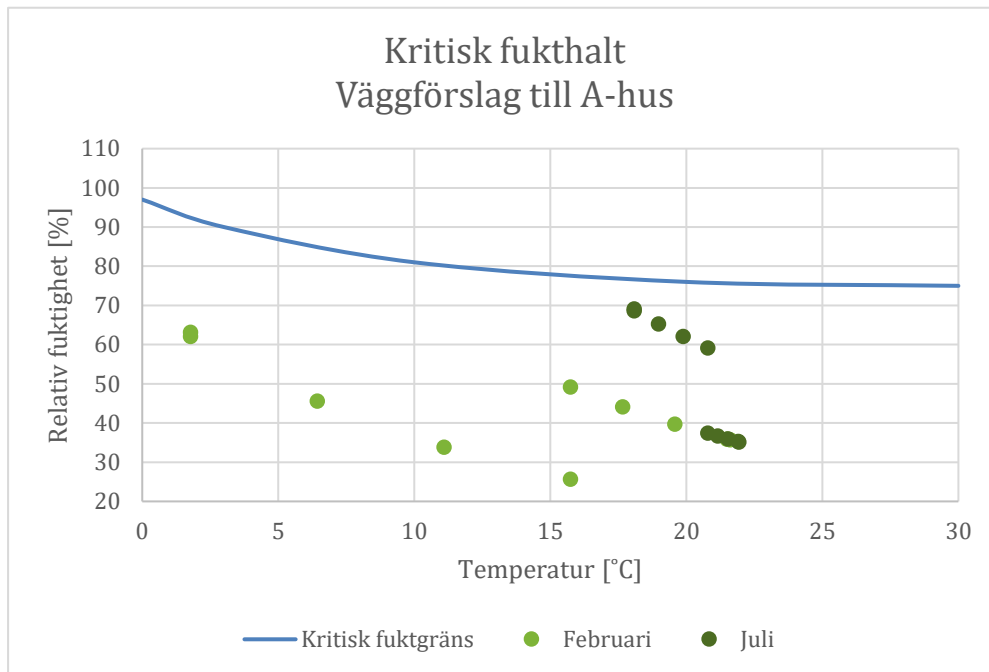


Figur 21: Temperaturfördelning i väggförslaget till A-hus, under februari och juli.



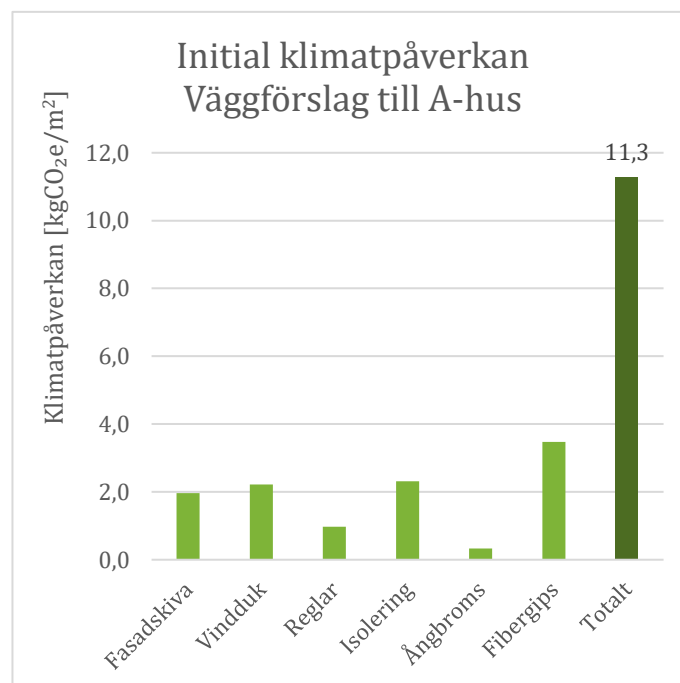
Figur 22: Ånghaltsfördelning i väggförslaget till A-hus, under februari och juli.

Kontroll av fukthalten i väggförslaget visas i figur 23.



Figur 23: Kontroll av fukthalt i väggförslag till A-hus.

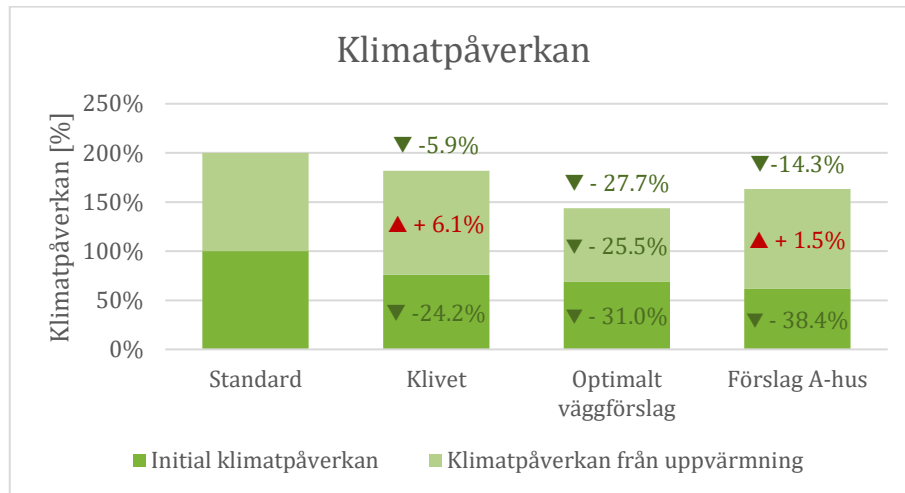
Resultat av beräkning av väggförslagets initiala klimatpåverkan visas i figur 24.



Figur 24: De olika materialens och den totala initiala klimatpåverkan för väggförslag till A-hus.

4.5 Jämförelse resultat

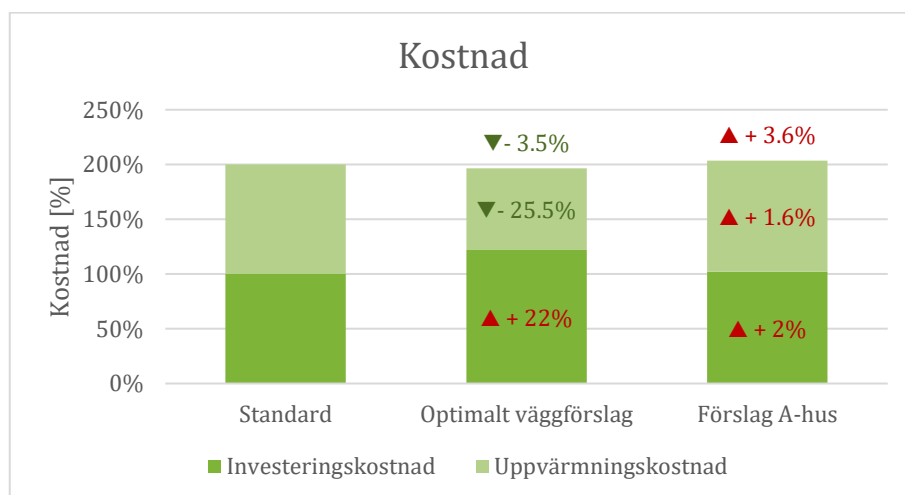
De nya väggförslagens klimatpåverkan har jämförts med A-hus' standardvägg vilket visas i figur 25.



Figur 25: Initial och total klimatpåverkan inklusive uppvärmning för de olika väggkombinationerna.

Jämfört med standardväggen har den totala klimatpåverkan från det optimala väggförslaget minskat med 27.7% och förslaget till A-hus ger en minskning med 14.3%. Båda nya väggförslag har även en lägre klimatpåverkan än Klivet.

Vidare har kostnaden för de nya väggförslagen jämförts med A-hus' standardvägg vilket redovisas i figur 26. Det har inte skett någon jämförelse mot Klivet då det inte kan bli en rättvis jämförelse. Väggen som används i Klivet har ett annat produktionssätt än resterande väggarna och det hade resulterat i stora investeringskostnader i A-hus fabrik. Att bara jämföra materialkostnader skulle därför ge ett missvisande resultat.



Figur 26: Procentuell kostnadsförändring för de nya väggtyperna jämfört med standardväggen.

Jämfört med standardväggen har den totala kostnaden för det optimala väggförslaget minskat med -3.5% och förslaget till A-hus har ökat med 3.6%. Investeringskostnaden har ökat för båda väggarna, med 22% respektive 2%.

5 Diskussion

5.1 Materialval

Vid den ekonomiska och ekologiska optimeringen analyserades de olika materialen ur en kostnad- och klimatsynpunkt. Flertalet material ansågs vara för dyra alternativt ha för hög klimatpåverkan för att vidare kombinera med ytterligare varianter.

Hampaisolering är det enda material där upptaget av biogen koldioxid har tagits hänsyn till och är därför det enda material i detta arbete som möjliggör klimatnegativt byggande. Eftersom hampa kan odlas och tillverkas till isolering i Sverige minimeras även transporterna. I dagsläget är hampaisolering mycket dyrare än både glasull- och cellulosaisolering. Det har dessutom en sämre värmeisoleringsförmåga, vilket innebär att det krävs tjockare lager med isolering för att väggen ska få ett bra U-värde. Detta leder till att hampaisolering ännu är för dyrt för att vara ett optimalt isoleringsmaterial. Förhoppningen är att vid ökad användning av hampaisolering kommer priserna att minska och kan därför bli ett optimalt val i framtiden.

Cellulosaisolering är det material med lägst klimatpåverkan när man inte tar hänsyn till den biogena koldioxiden. Cellulosaisolering är ett bra substitut till glasull då de har en likvärdig värmeisoleringsförmåga. En nackdel med materialet är att det idag inte återvinns, vilket egentligen anses vara en relativt enkel process. Detta innebär att det fortfarande finns förbättringsåtgärder för materialet och klimatpåverkan kan bli ännu lägre i framtiden. Som tidigare nämnt är det stor skillnad på klimatpåverkan om cellulosaisoleringen är gjort på återvunnet papper eller ny råvara. Resultatet i detta arbete gäller därför endast vid användning av cellulosaisolering gjord på återvunnet papper.

Även om det generellt krävs betydligt mindre material av de högpresterande isoleringsmaterialen, är de alldeles för dyra och har för hög klimatpåverkan för att klassificeras som optimala isoleringsmaterial ur en kostnad- och klimatsynpunkt. Fenolskum som är ett relativt nytt material, är det högpresterande isoleringsmaterialet med lägst klimatpåverkan. Fenolskum har dessutom en bättre värmeisoleringsförmåga än PIR och de traditionella värmeisoleringsmaterialen men är fortfarande dyrt. Detta leder till att materialet ej blir lönsamt ur en kostnadssynpunkt.

När de nya väggarna har konstruerats har en smalare fasadskiva på 30mm använts i stället för 50-60mm som i A-hus' befintliga väggar. Detta val baseras på den stora prisskillnaden och klimatpåverkan en tjockare fasadskiva resulterar i. Även materialet för skivan har en stor påverkan på den slutgiltiga klimatpåverkan. Klimatpåverkan från träfiberskivor är lägre än påverkan från glasull om man jämför per kilo material. Dock skiljer sig densiteten för de olika fasadskivorna mycket, densiteten för träfiberskivor är mer än tre gånger så hög som den för glasull vilket resulterar i att fasadskivor av glasull har lägre klimatpåverkan i slutändan.

Det har inte utförts några beräkningar med avseende på brand, däremot har brandklasser beaktats i val av material. Cellulosaisolering har en lägre brandklass än glasull, men det är fortfarande klassat som brandsäkert och kan användas i villor. När det kommer till invändig beklädnad var det som tidigare nämnt osäkerheter kring brandsäkerheten för byggskivan av återvunna förpackningar, därför valdes fibergips som invändig beklädnad.

5.2 Klimatpåverkan

En viktig aspekt att tänka på när det kommer till klimatpåverkan är fördelningen av klimatpåverkan. Exempelvis används återvunnet gips och papper i Fermacells fibergips, vilket innebär att gipsskivan får en låg klimatpåverkan. Dock har det ursprungliga gipset och papperet producerats någon gång och någonstans, vilket då lett till koldioxidutsläpp, vilka med största sannolikhet inte räknats med i Niras (u.å.) utvärdering. Det är en svår diskussion att bestämma om och i så fall hur mycket av ursprungsproduktens klimatpåverkan som ska räknas in när den återvinns i nya produkter.

Liknande gäller även upptaget av den biogena koldioxiden. Enligt Boverkets regler skall klimatpåverkan definieras som utsläpp av växthusgaser exklusive upptag av biogen koldioxid. Upptaget av den biogena koldioxiden resulterar i väldigt stor skillnad i de biologiska materialens klimatpåverkan och det är svårt att se dess fördelar vid exkluderandet. Därför är det viktigt att analysera när och varför upptaget av biogen koldioxid får inkluderas. För att det inte ska ske något nettoutsläpp bör materialets livslängd överstiga tiden för tillväxt. Därför har hampa med en tillväxttid på 100–150 dagar valts att inkluderas i detta arbete medan trä valts att exkluderas eftersom det har en tillväxttid på 60-100år.

I Recomas EPD för byggskivan av återvunna förpackningar saknas värde för A5, detta resulterar i att den initiala klimatpåverkan är något större än vad som beräknats i denna uppsats. Då Recoma byggskivor inte liknar något av de andra byggmaterialen var det svårt att uppskatta ett värde för A5 och det har därför utelämnats. Eftersom fibergips valdes som invändig beklädnad har uteslutandet av byggspillspåverkan ingen betydelse för slutresultatet.

En viktig aspekt när det kommer till klimatpåverkan från elproduktion är om utsläppen från hela livscykeln är inräknade. Exempelvis har el som producerats i ett vindkraftverk inga direkta koldioxidutsläpp, däremot har tillverkningen av vindkraftverket relativt stora utsläpp. Detta gör att elen som produceras har indirekta koldioxidutsläpp vilket bör tas till hänsyn till. Räknas den indirekta påverkan med kommer elproduktionen troligtvis aldrig vara 100% fossilfri.

5.3 Förväntad förändring

I framtiden kommer behoven och förutsättningarna skilja sig från dagsläget. Bland annat kan byggnadernas uppvärmningsbehov minska till följd av ökade temperaturer orsakade av den globala uppvärmningen. De uppvärmningsgradsdagar, D, som använts är för 2023, eftersom övriga data som använts i beräkningarna var för nutid. Ett medelvärde över kommande 50 år hade i stället kunnat användas för ett mer korrekt resultat.

Uppvärmningskostnaden baseras på det genomsnittliga elpriset från 2022, men elpriset varierar från dag till dag och kommer fortsätta att variera under de kommande åren. Även investeringskostnaden för materialen varierar, men då investeringskostnaden är en engångskostnad och vi antar att väggen skall byggas inom en snar framtid, anser vi att detta inte påverkar resultatet avsevärt.

Klimatpåverkan från materialtillverkning och elproduktionen kommer mest troligt att ändras. Förhoppningsvis kommer klimatpåverkan minska då Sverige går mot mer förnybar och fossilfri energi. Även om Sverige är relativt bra redan idag så importerar vi material och el från andra länder så dess utveckling kommer också att spela en stor roll.

5.4 Osäkerheter

Optimeringen medför flera osäkerheter. Dels är intervallen från de optimala tjocklekarna höga, de har behövt vara mellan 30% och 80% för att få en överlappning. Ju större intervall, desto större osäkerheter. En annan osäkerhet är att då isoleringen består av två olika material och många kombinationer av tjocklekar, kan valet av isoleringstjocklek inte bara utgå från den totala tjockleken. Det finns till exempel två isoleringskombinationer med glasull och cellulosa som båda är 370mm. Den ena har 80mm glasull och 290mm cellulosa, och den andra har 30mm glasull och 340mm cellulosa. Så trots att de har samma totala tjocklek varierar uppbyggnaden och därmed kostnaden samt klimatpåverkan. Det intervall där den ekonomiskt och ekologiskt optimala tjockleken överlappar har därför fungerat som en utgångspunkt för att välja den optimala väggen, men det har krävts en egen bedömning för att få fram den bästa väggen. Utgångspunkterna för att välja den vägg som är mest ultimata, har varit att både kostnad och klimatpåverkan ska vara så låg som möjligt. Bland de kombinationer som kunnat väljas har endast alternativ där både kostnad och klimatpåverkan varit mindre än medel valts. I de fall där det var svårt att välja mellan två väggar har den med lägst klimatpåverkan prioriterats.

Arbetet har utgått från ett genomsnittligt elpris från 2022, vilket var ett år med rekordhöga elpriser. För att få ett säkrare resultat bör det användas ett genomsnittligt elpris för en längre tidsperiod. Alternativt utföra optimeringen baserat på olika prisnivåer. Vidare har en frånluftsvärmepump antagits som uppvärmningssystem vid energiberäkningarna. Användning av annat uppvärmningssystem kan påverka resultatet.

Eftersom detta arbete har avgränsats till att endast studera ytterväggar har anslutningar till resterande byggnadsdelar ej tagits hänsyn till. Detta innebär att endast väggens byggbarhet i fabrik har beaktats och ej byggbarheten vid montering. Vidare har ingen hänsyn tagits till köldbryggor eller solinstrålning, dessa påverkar husets energiförbrukning vilket i sin tur kan påverka resultatet av isoleringsoptimeringen.

En svaghet i uppsatsens optimering är att endast isoleringens kostnad har tagits hänsyn till. För att få en mer rättvis bedömning bör även träregelkostnaden inkluderas i optimeringen eftersom en större regelstorlek medför ökade investeringskostnader.

Då A-hus' inköspriser är sekretessbelagda har deras prisuppgifter ej kunnat användas. Uppskattade priser från Bidcon (Elecsoft, 2022) har därför antagits vid den ekonomiska och ekologiska optimeringen. Dessa skiljer sig troligtvis från A-hus' inköspriser eftersom A-hus har upphandlade mängdrabatter och köper in med andra villkor.

Det finns även osäkerhet i data som har använts. Den data som har använts är tagen från många olika källor. En del klimatdata är tagen från boverket, vilket är generella värden för de olika materialen, medan en del värden är tagna från specifika produkters datablad

och EPD. Alltså blir en del data specifikt för ett enskilt varumärke och en del data är översiktligt för materialet som helhet. Dessutom är det svårt att veta precis hur de olika företagen har tagit fram sin data och om alla räknar med samma saker.

5.5 A-hus

Den vägg som är optimal ur ekonomisk och ekologisk synpunkt är inte optimal för A-hus. A-hus standardvägg är 289mm exklusive fasadpanel, så att ändra till en vägg som är 383mm innebär för stora förändringar i produktion för dem. A-hus mål med detta arbete är att hitta enkla ändringar som ger mest klimatvinst per krona. De vill med andra ord hitta en vägg som är billig investeringsmässigt men med så låg klimatpåverkan som möjligt. De har gärna ett mer klimatsmart alternativ till sina kunder, men för att ändra standardväggen tror dem att kraven måste bli hårdare innan de vågar förändra och öka kostnaderna på sin standardvägg för mycket. Eftersom ytterväggen endast är en del av huset är det svårt att uppskatta vilken prisökning som är säljbar. Därför anser vi att 10% är en rimlig kostnadsökning vid en förändring av väggens uppbyggnad, då det kan kräva nya investeringar i fabrik. Vid samma uppbyggnad som standardväggen kan materialkostnaderna eventuellt vara högre, eftersom inga investeringar i fabriken behövs.

A-hus har en möjlighet att bygga tjockare väggar i deras fabrik, men det medför en del arbete. Enligt en diskussion med Jimi Leo från A-hus vet dem sedan tidigare att en grövre stomme på 220mm leder till tunga och otympliga regler. En tjockare fasadskiva gör det i dagsläget svårt med infästning av fönster och ett tjockare installationskikt ökar arbetsmiljörisken då det innebär längre spik och tyngre maskiner. En tjockare vägg innebär dessutom att färre väggar ryms på lastbilarna, vilket leder till att fler lastbilar krävs. Fler lastbilar innebär större koldioxidutsläpp samt ökade kostnader och är alltså dåligt ur både ett ekonomiskt och ekologiskt perspektiv.

Trots A-hus åsikter om att ändra uppbyggnaden av väggen har ett tjockare installationskikt valts för att inom avgränsningarna få en så optimal vägg som möjligt. Detta eftersom alternativet med samma uppbyggnad som standardväggen var mycket dyrare och hade en större klimatpåverkan.

5.6 Resultat

Klimatpåverkan från det optimala väggförslaget är mycket lägre än påverkan från standardväggen. Väggen är tjockare och kräver därför mer material, men eftersom majoriteten av isoleringen är biobaserad samt att den invändiga beklädnaden är utbytt får väggen en lägre initial klimatpåverkan. Eftersom väggförslaget har tjockare isoleringsskikt än standardväggen minskar även klimatpåverkan från uppvärmningen. Den initiala klimatpåverkan från väggförslaget till A-hus är också lägre än standardväggen. Detta beror främst på att stora delar av isoleringen är utbytt till ett isoleringsmaterial med lägre klimatpåverkan än glasull. Utbytet av isoleringsmaterialet resulterar däremot i ett sämre U-värde vilket i sin tur leder till en större klimatpåverkan från uppvärmning. Trots ökningen i klimatpåverkan från uppvärmningen är den totala klimatpåverkan lägre än den från standardväggen. Veggförslagen har även en lägre klimatpåverkan än Klivet, sett från den initiala påverkan samt klimatpåverkan från uppvärmningen. Orsaken till att den initiala klimatpåverkan är lägre är valet att ha en tunn fasadskiva av glasull i stället för den tjockare träfiberskivan som används i Klivet.

De båda väggförslagen har även ett bättre U-värde än Klivet vilket resulterar i att klimatpåverkan från uppvärmningen är lägre.

Den totala kostnaden har minskat för det optimala väggförslaget med -3.5% och väggförslaget till A-hus har ökat med 3.6%. A-hus' har svårt att uppskatta vilken prisökning som är konkurrenskraftig, därför har en maximal prisökning på 10% antagits. Detta innebär att båda väggarna kan prismässigt konkurrera mot standardväggen med avseende på den totala kostnaden.

Investeringskostnaden för det optimala väggförslaget ökade med 22% jämfört med standardväggen, vilket leder till att den är för dyr för A-hus' att bygga. Förslaget till A-hus hade däremot bara en ökad investeringskostnad på 2% vilket gör att den kan prismässigt konkurrera med standardväggen.

Skillnaden i uppvärmningskostnaden för väggförslaget till A-hus ökade minimalt med 1.6% jämfört med standardväggen. Däremot skedde en minskning på 25.5% av uppvärmningskostnaden för det optimala väggförslaget. Detta beror på främst på den ökade isoleringstjockleken som leder till minskat uppvärmningsbehov. Den stora minskningen av uppvärmningskostnaden resulterar i att den totala kostnaden blir relativt lik standardväggen, trots höga investeringskostnader.

Det gjordes ingen kostnadsjämförelse med Klivet då detta arbete inte kunde göra en rättvis jämförelse. Sett ur bara materialkostnader så är Klivet billigare än standardväggen och de väggförslag som tagits fram i detta arbete. Dock är detta en missvisande jämförelse eftersom en standardisering av Klivet hade inneburit stora kostnader för A-hus. För att standardisera Klivet krävs det att A-hus investerar i nya maskiner samt att de delvis ändrar arbetssättet och dessa kostnader måste räknas in i jämförelsen för att få ett korrekt resultat.

6 Slutsats

- Den optimala isoleringstjockleken ur en hållbarhets- och kostnadssynpunkt har en total tjocklek på 370mm, där 30mm är en fasadskiva av glasull och 340mm består av isoleringsskivor av cellulosa.
- Genom att konstruera en vägg med en total isoleringstjocklek på 270mm, där 30mm är en fasadskiva av glasull och 240mm består av isoleringsskivor av cellulosa, kan koldioxidutsläppen minska i jämförelse med A-hus' standardvägg. Denna vägg har inga avsevärda förändringar i fukt- och värmemotstånd, och är därför lämplig i A-hus' kommande byggnationer.
- Genom att konstruera en vägg som består av den optimala isoleringstjockleken alternativt det tidigare nämnda väggförslaget till A-hus kan de prismässigt konkurrera med A-hus standardvägg gällande den totala kostnaden, vilken inkluderar investeringskostnaden och uppvärmningskostnaden under 50 år. Förslaget till A-hus kan dessutom prismässigt konkurrera med standardväggen med avseende på investeringskostnaden, då den endast är 2% dyrare. Investeringskostnaden för det optimala väggförslaget har en ökning på 22% vilket anses vara för högt för att prismässigt konkurrera med A-hus standardvägg.
- Båda väggförslagen innehåller relativt små förändringar gällande väggens uppbyggnad, vilket visar att det med enkla medel går att minska en traditionell träregelväggs klimatavtryck utan stor prisökning.

Referenser

- A-hus. (u.å.-a). *En unik väggkonstruktion / A-hus*. Hämtad 08 mars 2023, från <https://www.a-hus.se/att-bygga-hus/om-vara-hus/vaggkonstruktion>
- A-hus. (u.å.-b). *Husleverantör, husbyggare sedan 1946 / A-hus*. Hämtad 02 mars 2023, från <https://www.a-hus.se/det-har-ar-a-hus>
- A-hus. (u.å.-c). *Klivet - mot klimatneutralt byggande / A-hus*. Hämtad 05 maj 2023, från <https://www.a-hus.se/det-har-ar-a-hus/vara-fordelar/klivet-forsknings-utvecklingshus-klimatneutralt-byggande>
- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, 40(3), 353–366.
<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2004.05.013>
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1–17.
<https://doi.org/10.1016/J.SUSMAT.2015.05.002>
- Baubook. (2013, mars 13). *OSB-Platten (650 kg/m³)*.
<https://www.baubook.at/m/PHP/Info.php?SI=2142715124&SW=5&win=y>
- Blixt, S., & Svanteson, K. (u.å.). *En liten handbok om brandprojektering för arkitekter*.
- Boverket. (2011). *Konsoliderad version av Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*.
- Boverket. (2021a, september 30). *Klimatdeklarationens omfattning - Klimatdeklaration - Boverket*.
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/omfattning/>
- Boverket. (2021b, december 15). *Fuktrisker med träregelväggar som har en uteluftsventilerad luftspalt - Boverket*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-yttervaggar/traregelvaggair-luftspalt/>
- Boverket. (2023a). *Högsta tillåtna fuktillstånd - PBL kunskapsbanken - Boverket*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/hogsta-tillatna-fuktillstand/>
- Boverket. (2023b, januari 9). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft - Boverket*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/>
- Boverket. (2023c, januari 9). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>
- Boverket. (2023d, januari 24). *Boverkets klimatdatabas - Klimatdeklaration*.
- Boverket. (2023e, januari 24). *Boverkets klimatdatabas - Klimatdeklaration - Elektricitet, svensk elmix*.
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/klimatdatabas/GetResourceByCategoryID/>
- Boverket (2021:7). (2021). *Boverkets föreskrifter (2021:7) om klimatdeklaration för byggnader*.

- Brown, K., Okoroafor, T., & Resalati, S. (2020). *Innovative multi-functional Vacuum-Insulation-Panels (VIPs) for use in the building sector Grant Agreement Number | 723441*.
- Derome Husproduktion AB. (2015). *Standardritning Sektioner YV-265*.
- Derome Husproduktion AB. (2022). *Klivet Standardritning Sektioner YV-265*.
- ECIA. (2018). *Environmental Product Declaration Kg or m 2 depending on the product*. www.ecia.eu.com
- Ekolution. (u.å.-a). *Hampafiberisolering*. Hämtad 16 mars 2023, från https://www.ekolution.se/_files/ugd/745fcc_4f342d76de514c249d15733cd6744db2.pdf
- Ekolution. (u.å.-b). *HAMPAFIBERISOLERING EKOLUTION®*. Hämtad 14 mars 2023, från www.virondec.com.
- Elecosoft. (2022). *Bidcon*.
- Energimarknadsinspektionen. (2023). *Historiska jämförpriser på avtal - elhandel*. <https://ei.se/om-oss/statistik-och-oppna-data/historiska-jamforpriser-pa-avtal---elhandel>
- Eurima. (u.å.-a). *Benefits of mineral wool insulation*. Hämtad 14 februari 2023, från <https://www.eurima.org/benefits-of-mineral-wool-insulation>
- Eurima. (u.å.-b). *What is mineral wool insulation ?* Hämtad 14 februari 2023, från <https://www.eurima.org/what-is-mineral-wool-insulation>
- European Commission. (2005, september 27). *Technology to recycle vacuum insulation panels | News | CORDIS | European Commission*. <https://cordis.europa.eu/article/id/97027-technology-to-recycle-vacuum-insulation-panels>
- FAO. (u.å.). *FAOSTAT*. Hämtad 23 februari 2023, från <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>
- Fermacell. (u.å.-a). *Brandskydd | James Hardie Europe GmbH*. Hämtad 31 mars 2023, från <https://www.fermacell.se/se/brandskydd>
- Fermacell. (u.å.-b). *Fibergips*. Hämtad 23 februari 2023, från <https://www.fermacell.se/se/produkter/fibergips>
- Fermacell. (2015). *Byggvarudeklaration BVD 3*. www.fermacell.se
- Folkhälsomyndigheten. (2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus Folkhälsomyndighetens författningssamling*. www.fritzes.se.
- Globala målen. (u.å.). *Globala målen*. Hämtad 26 januari 2023, från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>
- Havinga, L., & Schellen, H. (2018). Applying internal insulation in post-war prefab housing: Understanding and mitigating the hygrothermal risks. *Building and Environment, 144*, 631–647. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.035>
- Healthy Printing. (u.å.). *About Paper Recycling | Healthy printing*. Hämtad 29 mars 2023, från <https://www.healthyprinting.eu/about-paper-recycling/>
- Hunton. (u.å.). *Hunton Nativo® Träfiberisolering Skivor - Hunton Sverige*. Hämtad 16 mars 2023, från <https://hunton.se/produkter/vagg/hunton-nativo-trafiberisolering-skivor/>
- Hunton. (2020). *Hunton Trefiberisolasjon Plate™ Hunton Fiber AS*. www.epd-norge.no
- iCell. (u.å.-a). *Naturlig & Miljövänlig cellulosaisolering*. Hämtad 20 februari 2023, från <https://icell.se/wp-content/uploads/190130-iCell-broschyr-web-02-m-serie.pdf>

- iCell. (u.å.-b). *Naturlig och miljövänlig cellulosaisolering-för varma, tysta och sunda hus*. Hämtad 28 mars 2023, från www.icell.se
- Isover. (2020). *Byggisolering Produktguide*.
- Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions - Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*, 43(10), 2549–2563. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.05.015>
- Johansson, P. (2014). *Determination of the Critical Moisture Level for Mould Growth on Building Materials*.
- Karami, P., Al-Ayish, N., & Gudmundsson, K. (2015). A comparative study of the environmental impact of Swedish residential buildings with vacuum insulation panels. *Energy and Buildings*, 109, 183–194. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.10.031>
- Kingspan. (u.å.-a). *Ett brett utbud av lösningar*. Hämtad 23 mars 2023, från <https://www.kingspan.com/se/sv/kunskapsartiklar/ett-brett-utbud-av-lösningar/>
- Kingspan. (u.å.-b). *Kooltherm K12 D Regelskiva*. Hämtad 29 mars 2023, från <https://www.kingspan.com/se/sv/produkter/isoleringskivor/vaggisoleringsskivor/kooltherm-k12d/>
- Kingspan. (u.å.-c). *Therma, högkvalitativ PIR-isolering*. Hämtad 29 mars 2023, från <https://www.kingspan.com/se/sv/affarsenheter/kingspan-insulation/therma/>
- Kingspan. (2021). *EPD Kooltherm® K12*. www.ibu-epd.com | <https://epd-online.com>
- Kingspan. (2023). *EPD Therma TP10*. www.kingspan.com.
- Kües, U. (2007). *Recycling of Wood Composites and Solid Wood Products Mating type genes in Basidiomycetes View project Laccases View project*. <https://www.researchgate.net/publication/262179636>
- Lopez Hurtado, P., Rouilly, A., Vandenbossche, V., & Raynaud, C. (2016). A review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and Environment*, 96, 170–177. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.09.031>
- Mazor, M. H., Mutton, J. D., Russell, D. A. M., Keoleian, G. A., & Russell, D. (2011). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions Reduction From Rigid Thermal Insulation Use in Buildings A P P L I C A T I O N S A N D I M P L E M E N T A T I O N*. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00325.x>
- Nguyen, D. L., Luedtke, J., Nopens, · Martin, & Krause, A. (2023). *Production of wood-based panel from recycled wood resource: a literature review*. <https://doi.org/10.1007/s00107-023-01937-4>
- Niras. (u.å.). *Sustainability evaluation of fermacell*.
- Norgips. (u.å.). *Resurssnäla råmaterial i gipsskivor - Norgips*. Hämtad 20 februari 2023, från <https://www.norgips.se/kunskapsbank/resurssnalaramaterial/>
- Pettersson, B.-Å. (2015). *Tillämpad byggnadsfysik (5:e upplagan)*. Studentlitteratur AB, Lund.
- Pinheiro, S. M. M., & Camarini, G. (2015). Characteristics of Gypsum Recycling in Different Cycles Gypsum plaster recycling View project Mortar type influence on mechanical performance of repaired reinforced concrete beams View project. *Article in International Journal of Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.7763/IJET.2015.V7.794>

- Promat. (u.å.). *SLIMVAC - Versatile high-tech vacuum insulation*. Hämtad 20 mars 2023, från http://www.plaisance-pratique.com/IMG/pdf/Data_Sheet_-_Slimvac.pdf
- Recoma. (u.å.). *Process*. Hämtad 23 februari 2023, från <https://se.recoma.com/process>
- Recoma. (2022). *Teknisk Specifikation*.
- Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617–3631. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.07.014>
- Simões, N., Gonçalves, M., Serra, C., & Resalati, S. (2021). Can vacuum insulation panels be cost-effective when applied in building façades? *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.107602>
- Skogsstyrelsen. (2023). *Skogsvårdslagstiftningen*.
- Strandberg, B. (2015). *Bygga hus* (Andra upplagan). Studentlitteratur AB, Lund.
- Svenskt trä. (u.å.). *Miljö - TräGuiden*. Hämtad 26 januari 2023, från <https://www.traguiden.se/om-tra/miljo/>
- Sveriges miljömål. (u.å.). *Sveriges miljömål*. Hämtad 26 januari 2023, från <https://www.sverigemiljomal.se/miljomalen/>
- Sveriges Riksdag. (2010, juli 1). *Plan- och bygglag (2010:900) Svensk författningssamling 2010:2010:900 t.o.m. SFS 2022:1122 - Riksdagen*. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900
- Swegon. (2022, januari 11). *Varför blir inomhusluften i mitt hus så torr under vintern?* <https://blog.swegon.com/sv/konsument/varf%C3%B6r-blir-inomhusluften-i-mitt-hus-s%C3%A5-torr-under-vintern>
- Tetty, U. Y. A., Dodoo, A., & Gustavsson, L. (2014). Effects of different insulation materials on primary energy and CO₂ emission of a multi-storey residential building. *Energy and Buildings*, 82, 369–377. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.07.009>
- Tornberg, N. (2023). *mailkonversation*.
- TräGuiden. (2003, september 1). *Reglar - TräGuiden*. <https://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/barverk/barverk/reglar/>
- TräGuiden. (2017, augusti 15). *OSB-skivor*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/trabaserade-produkter/skivmaterial1/osb-skivor/>
- TräGuiden. (2021a, februari 22). *Ytterväggar - TräGuiden*. <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/vaggar/yttervaggar/>
- TräGuiden. (2021b, december 8). *Väggar*. <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/vaggar/>
- UK Research and Innovation. (2022). *Recycling of Kooltherm Phenolic Resin Insulation Boards*. <https://gtr.ukri.org/projects?ref=studentship-2634248>
- UNILIN. (2014). *EPD Unilin insulation boards PIR*. www.unilininsulation.com.
- Villasmil, W., Fischer, L. J., & Worlitschek, J. (2019). A review and evaluation of thermal insulation materials and methods for thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 71–84. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.12.040>
- Woodycell. (u.å.). *WOODYCELL DD40 Fasadskiva Tekniskt datablad*.

Bilagor

Bilaga 1: Materialdata

Material	λ -värde [W/mK]	δ -värde [m ² /s]	Z [s/m]	A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	A1-A3 inkl. biogen [kgCO ₂ e/kg]	A4 [kgCO ₂ e/kg]	A5 [kgCO ₂ e/kg]	Omräkningsfaktor [kg/m ³]	Källa
Fasadskiva	0,031	0,000003		1,080	1,080	0,0345	0,0777	55	Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Träfiberskiva	0,045	0,000003		0,371	0,371	0,0345	0,0284	180	Klimatdatabas (Boverket, 2023d) EPD (Woodycell, u.å.)
Vindduk			20000	3,400	3,400	0,0495	0,3450	900	Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Reglar	0,140			0,092	0,092	0,0158	0,0108	455	Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Ångspärr			1100000	2,750	2,750	0,0495	0,2800	900	Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Glasull skivor	0,035	0,000024		1,110	1,110	0,0345	0,0803	19	Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Cellulosaisolering	0,036	0,000024		0,200	0,200	0,0345	0,0549	36	Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Cellulosa lösull	0,038	0,000024		0,200	0,200	0,0345	0,0024	50	Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Hampafiberisolering	0,040		91760	0,608	-0,613	0,0011	0,0645	36	EPD (Ekolution, u.å.-b)
Träfiberisolering	0,038		200000	0,371	0,371	0,0345	0,2000	50	EPD (Hunton, 2020)
VIP	0,004			11,735	11,735	0,0084	0,0000	170	(Brown m.fl., 2020; Promat, u.å.)
PIR	0,022			3,056	3,056	0,0084	0,0850	30	EPD (Kingspan, 2023)
Fenolskum	0,021			2,177	2,177	0,0085	0,0571	35	EPD (Kingspan, 2021)
OSB	0,130	0,000003		0,418	0,418	0,0645	0,0512	650	(Baubook, 2013)
Gips	0,250	0,0000036		0,284	0,284	0,0232	0,0368	710	Klimatdatabas (Boverket, 2023d)
Fibergips	0,320	0,0000036		0,078	0,078	0,0795	0,0689	1180	EPD (Niras, u.å.)
Byggskiva av återvunna förpackningar	0,154		250640	0,045	0,045	0,0455		900	EPD (Recoma, 2022)

Bilaga 2: Investeringskostnad

Material	Tjocklek	Pris material	Bidcon	
			Pris montering	Pris totalt inkl moms
Glasull	0,045	27,49	20,4	59,9
Glasull	0,07	38,15	20,4	73,2
Glasull	0,095	50,54	20,4	88,7
Glasull	0,12	61,49	24,48	107,5
Glasull	0,145	75,58	24,48	125,1
Glasull	0,17	86,15	24,48	138,3
Glasull	0,195	99,89	24,48	155,5
Glasull	0,22	113,3	24,48	172,2
Cellulosafiber	0,045	43	20,4	79,3
Cellulosafiber	0,07	64,5	20,4	106,1
Cellulosafiber	0,095	85,99	20,4	133,0
Cellulosafiber	0,12	111,97	24,48	170,6
Cellulosafiber	0,145	139,84	24,48	205,4
Cellulosafiber	0,17	150,35	24,48	218,5
Hampafiber	0,045	82,22	20,4	128,3
Hampafiber	0,07	126,68	20,4	183,9
Hampafiber	0,095	165,1	20,4	231,9
Hampafiber	0,12	204,96	24,48	286,8
Hampafiber	0,145	257,84	24,48	352,9
Hampafiber	0,17	286,26	24,48	388,4
Hampafiber	0,195	358,92	24,48	479,3
Hampafiber	0,22	387,83	24,48	515,4
Träfiber	0,045	29,26	20,4	62,1
Träfiber	0,07	45,37	20,4	82,2
Träfiber	0,095	61,69	20,4	102,6
Träfiber	0,12	77,91	24,48	128,0
Träfiber	0,145	94,13	24,48	148,3
Träfiber	0,17	110,24	24,48	168,4
Träfiber	0,195	126,14	24,48	188,3
PIR	0,03	172,32	32,64	256,2
PIR	0,05	170,41	32,64	253,8
PIR	0,07	238,5	32,64	338,9
PIR	0,08	328,56	32,64	451,5
PIR	0,1	412,37	32,64	556,3
PIR	0,12	513,23	36,72	687,4
PIR	0,15	605,14	36,72	802,3
PIR	0,2	679,14	36,72	894,8
Kooltherm	0,05	213,0125	32,64	307,1
Kooltherm	0,06	255,56875	32,64	360,3
Kooltherm	0,07	298,125	32,64	413,5
Kooltherm	0,08	410,7	32,64	554,2
Kooltherm	0,1	515,4625	32,64	685,1
Kooltherm	0,12	641,5375	36,72	847,8
VIP	0,02			700
VIP	0,04			1400
Träfiberskiva	0,04	161,92	20,4	182,32
Träfiberskiva	0,06	238,72	20,4	259,12
Glasull fasad	0,03	110,08	20,4	130,48
Glasull fasad	0,05	199,68	20,4	220,08
Glasull fasad	0,08	284,16	20,4	304,56

Bilaga 3: Beräkning U-värde

Standardvägg

Material	λ -värde [W/mK]	d [m]	P [%]	sammanvägt λ -värde [W/mK]	R [m ² K/W]
Fasadskiva	0,031	0,05			1,61
Vindduk					
Reglar (furu)	0,14		7,5		
Isolering glasull	0,035	0,17	92,5	0,042875	3,97
Plastfolie					
Reglar (furu)	0,14		7,5		
Isolering glasull	0,035	0,045	92,5	0,042875	1,05
OSB-skiva	0,13	0,011			0,08
Gips	0,25	0,013			0,052
		0,289			
				R_{total}	6,76
				U-värde	0,148

Klivet

Material	λ -värde [W/mK]	d [m]	P [%]	sammanvägt λ -värde [W/mK]	R [m ² K/W]
Träfiberskiva (Woodycell)	0,045	0,06			1,33
Vindduk					
Reglar (furu)	0,14		7,5		
Lösull biobaserad (ISOcell)	0,038	0,17	92,5	0,04565	3,72
Ångbroms					
Reglar (furu) c600	0,14		7,5		
Cellulosaisolering (ICell)	0,036	0,045	92,5	0,0438	1,03
Fibergips (Fermacell)	0,32	0,013			0,04
		0,288			
				R_{total}	6,13
				U-värde	0,163

Optimal vägg

Material	λ -värde [W/mK]	d [m]	P [%]	sammanvägt λ -värde [W/mK]	R [m ² K/W]
Fasadskiva	0,031	0,03			0,97
Vindduk					
Reglar (furu)	0,14	0,17	7,5	0,0438	3,88
Cellulosaisolering (iCell)	0,036		92,5		
Ångbroms (ISOcell)					
Reglar (furu)	0,14	0,17	7,5	0,0438	3,88
Cellulosaisolering (iCell)	0,036		92,5		
Fibergips (Fermacell)	0,32	0,013			0,04
		0,383			
				R_{total}	8,77
				U-värde	0,114

Förslag A-hus

Material	λ -värde [W/mK]	d [m]	P [%]	sammanvägt λ -värde [W/mK]	R [m ² K/W]
Fasadskiva	0,031	0,03			0,97
Vindduk					
Reglar (furu)	0,14	0,17	7,5	0,0438	3,88
Cellulosaisolering (iCell)	0,036		92,5		
Ångbroms (ISOcell)					
Reglar (furu)	0,14	0,07	7,5	0,0438	1,60
Cellulosaisolering (iCell)	0,036		92,5		
Fibergips (Fermacell)	0,32	0,013			0,04
		0,283			
				R_{total}	6,49
				U-värde	0,154

Bilaga 4: Beräkning klimatpåverkan

Standard

Material	A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	A4 [kgCO ₂ e/kg]	A5 [kgCO ₂ e/kg]	Omräkningsfaktor [kg/m ³]	d [m]	p	A1-A3 [kgCO ₂ e/m ²]	A4 [kgCO ₂ e/m ²]	A5 [kgCO ₂ e/m ²]	Total klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ²]
Fasadskiva	1,0800	0,0345	0,0777	55	0,05	1	2,9700	0,0949	0,2137	3,28
Vindduk	3,4000	0,0495	0,3450	900	0,00065	1	1,9890	0,0290	0,2018	2,22
Reglar (furu, hy	0,0919	0,0158	0,0108	455	0,17	0,075	0,5331	0,0917	0,0627	0,69
Isolering (mine	1,1100	0,0345	0,0803	19	0,17	0,925	3,3164	0,1031	0,2399	3,66
Plastfolie	2,7500	0,0495	0,2800	900	0,00012	1	0,2970	0,0053	0,0302	0,33
Reglar (furu, h	0,0919	0,0158	0,0108	455	0,045	0,075	0,1411	0,0243	0,0166	0,18
Isolering	1,1100	0,0345	0,0803	19	0,045	0,925	0,8779	0,0273	0,0635	0,97
OSB-skiva	0,4180	0,0645	0,0512	650	0,011	1	2,9887	0,4612	0,3661	3,82
Gips	0,2840	0,0232	0,0368	710	0,013	1	2,6213	0,2141	0,3397	3,18
	10,3358	0,3218	0,9725				15,73	1,05	1,53	18,32

Klivet

Material	A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	A4 [kgCO ₂ e/kg]	A5 [kgCO ₂ e/kg]	Omräkningsfaktor [kg/m ³]	d [m]	p	A1-A3 [kgCO ₂ e/m ²]	A4 [kgCO ₂ e/m ²]	A5 [kgCO ₂ e/m ²]	Total klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ²]
Träfiberskiva (Woodycell)	0,3710	0,0345	0,0284	180	0,06	1	4,0068	0,3726	0,3067	4,7
Vindduk	3,4000	0,0495	0,3450	900	0,00065	1	1,9890	0,0290	0,2018	2,2
Reglar (furu) c600	0,0919	0,0158	0,0108	455	0,17	0,075	0,5331	0,0917	0,0627	0,7
Lösull biobaserad (Isocell)	0,2000	0,0345	0,0024	50	0,17	0,925	1,5725	0,2713	0,0185	1,9
Ångbroms AIRSTOP SD18 (Isocell)	2,7500	0,0495	0,2800	900	0,00012	1	0,2970	0,0053	0,0302	0,3
Reglar (furu) c600	0,0919	0,0158	0,0108	455	0,045	0,075	0,1411	0,0243	0,0166	0,2
Isolering biobaserad (Icell)	0,2000	0,0345	0,0549	36	0,045	0,925	0,2997	0,0517	0,0823	0,4
Fibergips (Fermacell)	0,0782	0,0795	0,0689	1180	0,013	1	1,2000	1,2195	1,0569	3,5
	7,1830	0,3136	0,8012				10,04	2,07	1,78	13,88

Optimal vägg

Material	A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	A4 [kgCO ₂ e/kg]	A5 [kgCO ₂ e/kg]	Omräkningsfaktor [kg/m ³]	d [m]	p	A1-A3 [kgCO ₂ e/m ²]	A4 [kgCO ₂ e/m ²]	A5 [kgCO ₂ e/m ²]	Total klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ²]
Fasadskiva	1,0800	0,0345	0,0777	55	0,03	1	1,7820	0,0569	0,1282	2,0
Vindduk	3,4000	0,0495	0,3450	900	0,00065	1	1,9890	0,0290	0,2018	2,2
Reglar (furu) c600	0,0919	0,0158	0,0108	455	0,17	0,075	0,5331	0,0917	0,0627	0,7
Cellulosaisolering (icell)	0,2000	0,0345	0,0549	36	0,17	0,925	1,1322	0,1953	0,3108	1,6
Ångbroms AIRSTOP SD18 (Isocell)	2,7500	0,0495	0,2800	900	0,00012	1	0,2970	0,0053	0,0302	0,3
Reglar (furu) c600	0,0919	0,0158	0,0108	455	0,17	0,075	0,5331	0,0917	0,0627	0,7
Cellulosaisolering (icell)	0,2000	0,0345	0,0549	36	0,17	0,925	1,1322	0,1953	0,3108	1,6
Fibergips (Fermacell)	0,0782	0,0795	0,0689	1180	0,013	1	1,2	1,2195	1,0569	3,5
	7,8920	0,3136	0,9030				8,60	1,88	2,16	12,65

Förslag A-hus

Material	A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	A4 [kgCO ₂ e/kg]	A5 [kgCO ₂ e/kg]	Omräkningsfaktor [kg/m ³]	d [m]	p	A1-A3 [kgCO ₂ e/m ²]	A4 [kgCO ₂ e/m ²]	A5 [kgCO ₂ e/m ²]	Total klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ²]
Fasadskiva	1,0800	0,0345	0,0777	55	0,03	1	1,7820	0,0569	0,1282	2,0
Vindduk	3,4000	0,0495	0,3450	900	0,00065	1	1,9890	0,0290	0,2018	2,2
Reglar (furu) c600	0,0919	0,0158	0,0108	455	0,17	0,075	0,5331	0,0917	0,0627	0,7
Cellulosaisolering (icell)	0,2000	0,0345	0,0549	36	0,17	0,925	1,1322	0,1953	0,3108	1,6
Ångbroms AIRSTOP SD18 (Isocell)	2,7500	0,0495	0,2800	900	0,00012	1	0,2970	0,0053	0,0302	0,3
Reglar (furu) c600	0,0919	0,0158	0,0108	455	0,07	0,075	0,2195	0,0377	0,0258	0,3
Cellulosaisolering (icell)	0,2000	0,0345	0,0549	36	0,07	0,925	0,4662	0,0804	0,1280	0,7
Fibergips (Fermacell)	0,0782	0,0795	0,0689	1180	0,013	1	1,2000	1,2195	1,0569	3,5
	7,8920	0,3136	0,9030				7,62	1,72	1,94	11,28

Bilaga 5: Beräkning ånghalt

Standard

Februari

Material	d [m]	d [m]	λ-värde [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [C°]	T [C°]	vs [g/m ³]	δ-värde [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute						-1,2	4,41				3,40	82,0
Yttre övergångsmotstånd (Rse, Zse)				0,04	0,12				60	0,000		
Fasadskiva	0,05		0,031	1,61	4,64	-1,08	4,45	0,000003	16667	0,047	3,40	76,5
Vindduk					0,00	3,56	6,28		20000	0,056	3,45	54,9
Isolering (mineralull)	0,17	0,0567	0,035	1,62	4,66	3,56	6,28	0,000024	2361	0,007	3,50	55,8
		0,0567	0,035	1,62	4,66	8,22	8,63	0,000024	2361	0,007	3,51	40,7
		0,0567	0,035	1,62	4,66	12,87	11,55	0,000024	2361	0,007	3,52	30,5
Ångspärr					0,00	17,53	15,12		1100000	3,091	3,52	23,3
Isolering	0,045	0,0225	0,035	0,64	1,85	17,53	15,12	0,000024	938	0,003	6,61	43,7
		0,0225	0,035	0,64	1,85	19,38	16,74	0,000024	938	0,003	6,62	39,5
						21,23	18,48	0,000003	36667	0,103	6,62	35,8
OSB-skiva	0,011		0,13	0,08	0,24	21,48	18,72	0,0000003	36667	0,103	6,72	35,9
Gips	0,013		0,25	0,05	0,15	21,63	18,87	3,61111E-06	3600	0,010	6,73	35,7
Inre övergångsmotstånd (Rsi, Zsi)				0,13	0,37	22,00	19,24		360	0,001	6,73	35,0
Inne												
Summa				8,06	23,2				1186312			

Juli

Material	d [m]	d [m]	λ-värde [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [C°]	T [C°]	vs [g/m ³]	δ-värde [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute						17,5	15,09				10,80	82,0
Yttre övergångsmotstånd (Rse, Zse)				0,04	0,02				60	0,000		
Fasadskiva	0,05		0,031	1,61	0,92	17,52	15,11	0,000003	16667	-0,057	10,80	71,5
Vindduk					0,00	18,44	15,90		20000	-0,069	10,74	67,6
Isolering (mineralull)	0,17	0,0567	0,036	1,57	0,90	18,44	15,90	0,000024	2361	-0,008	10,67	67,1
		0,0567	0,036	1,57	0,90	19,34	16,70	0,000024	2361	-0,008	10,67	63,9
		0,0567	0,036	1,57	0,90	20,24	17,53	0,000024	2361	-0,008	10,66	60,8
Plastfolie					0,00	21,14	18,39		1100000	-3,770	10,65	57,9
Isolering	0,045	0,0225	0,036	0,63	0,36	21,14	18,39	0,000024	938	-0,003	6,88	37,4
		0,0225	0,036	0,63	0,36	21,49	18,73	0,000024	938	-0,003	6,88	36,7
						21,85	19,09	0,000003	36667	-0,126	6,87	36,0
OSB-skiva	0,011		0,13	0,08	0,05	21,90	19,14	0,0000003	36667	-0,126	6,75	35,3
Gips	0,013		0,25	0,05	0,03	21,93	19,17	3,61111E-06	3600	-0,012	6,74	35,1
Inre övergångsmotstånd (Rsi, Zsi)				0,13	0,07	22,00	19,24		360	-0,001	6,73	35,0
Inne												
Summa				7,89	4,5				1186312			

Klivet

Februari

Material	d [m]	d [m]	λ-värde [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	T [°C]	vs [g/m ³]	δ-värde [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute						-1,2	4,41				3,40	82,0
Yttre övergångsmotstånd (Rse, Zse)				0,04	0,13				60	0,000		
Träfiberskiva (woodycell)	0,06		0,045	1,33	4,26	-1,07	4,45	0,000003	20000	0,058	3,40	76,4
Vindduk					0,00	3,18	6,12		20000	0,058	3,46	56,5
Lösull, biobaserad (isocell)	0,17	0,0567	0,038	1,49	4,76	3,18	6,12	0,000024	2361	0,007	3,52	57,5
		0,0567	0,038	1,49	4,76	7,94	8,47	0,000024	2361	0,007	3,52	41,6
		0,0567	0,038	1,49	4,76	12,70	11,43	0,000024	2361	0,007	3,53	30,9
					0,00	17,47	15,06				3,54	23,5
Ångbroms						17,47	15,06		1100000	3,181		
Isolering biobaserad (icell)	0,045	0,0225	0,036	0,63	2,00			0,000024	938	0,003	6,72	44,6
		0,0225	0,036	0,63	2,00	19,46	16,81	0,000024	938	0,003	6,72	40,0
						21,46	18,70	0,000036	3611	0,010	6,72	36,0
Fibergips (fermacell)	0,013		0,32	0,04	0,13	21,59	18,83				6,73	35,8
Inre övergångsmotstånd (Rsi, Zsi)				0,13	0,41	22,00	19,24		360	0,001	6,73	35,0
Inne											6,73	35,0
Summa				7,27	23,2				1152989			

Juli

Material	d [m]	d [m]	λ-värde [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	T [°C]	vs [g/m ³]	δ-värde [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute						17,5	15,09				10,80	73,0
Yttre övergångsmotstånd (Rse, Zse)				0,04	0,02				60	0,000		
Träfiberskiva (woodycell)	0,06		0,045	1,33	0,83	17,52	15,11	0,000003	20000	-0,071	10,80	71,5
Vindduk					0,00	18,35	15,82		20000	-0,071	10,73	67,8
Lösull, biobaserad (isocell)	0,17	0,0567	0,038	1,49	0,92	18,35	15,82	0,000024	2361	-0,008	10,66	67,4
		0,0567	0,038	1,49	0,92	19,27	16,64	0,000024	2361	-0,008	10,65	64,0
		0,0567	0,038	1,49	0,92	20,20	17,49	0,000024	2361	-0,008	10,64	60,8
					0,00	21,12	18,37	0,000024	2361	-0,008	10,63	57,9
Ångbroms						21,12	18,37		1100000	-3,879	6,75	36,8
Isolering biobaserad (icell)	0,045	0,0225	0,036	0,63	0,39	21,12	18,37	0,000024	938	-0,003	6,75	36,0
		0,0225	0,036	0,63	0,39	21,51	18,75	0,000024	938	-0,003	6,75	36,0
						21,89	19,13	0,000036	3611	-0,013	6,75	35,3
Fibergips (fermacell)	0,013		0,32	0,04	0,03	21,92	19,16				6,74	35,2
Inre övergångsmotstånd (Rsi, Zsi)				0,13	0,08	22,00	19,24		360	-0,001	6,73	35,0
Inne											6,73	35,0
Summa				7,27	4,5				1152989			

Optimalt väggförslag

Februari

Material	d [m]	d [m]	λ-värde [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	T [°C]	vs [g/m ³]	δ-värde [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute						-1,2	4,41				3,40	82,0
Yttre övergångsmotstånd (R _{se} , Z _{se})				0,04	0,09				60	0,000		
Fasadskiva	0,03		0,031	0,97	2,11	-1,11	4,44	0,000003	10000	0,029	3,40	76,6
Vindduk					0,00	1,00	5,21		20000	0,058	3,43	65,8
Cellulosaisolering (icell)	0,17	0,0567	0,036	1,57	3,44	1,00	5,21	0,000024	2361	0,007	3,49	66,9
		0,0567	0,036	1,57	3,44	4,44	6,69	0,000024	2361	0,007	3,49	52,3
		0,0567	0,036	1,57	3,44	7,88	8,44	0,000024	2361	0,007	3,50	41,5
Ångbroms					0,00	11,31	10,50		1100000	3,194	3,51	33,4
Cellulosaisolering (icell)	0,17	0,0567	0,036	1,57	3,44	11,31	10,50	0,000024	2361	0,007	6,70	63,8
		0,0567	0,036	1,57	3,44	14,75	12,90	0,000024	2361	0,007	6,71	52,0
		0,0567	0,036	1,57	3,44	18,19	15,68	0,000024	2361	0,007	6,72	42,8
Fibergips (fermacell)	0,013		0,32	0,04	0,09	21,63	18,87	0,0000036	3611	0,010	6,72	35,6
Inre övergångsmotstånd (R _{si} , Z _{si})				0,13	0,28	21,72	18,96		360	0,001	6,73	35,5
Inne						22,00	19,24				6,73	35,0
Summa				10,62	23,2				1148198			

Juli

Material	d [m]	d [m]	λ-värde [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	T [°C]	vs [g/m ³]	δ-värde [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute						17,50	15,09				10,80	73,0
Yttre övergångsmotstånd (R _{se} , Z _{se})				0,04	0,02				60	0,000		
Fasadskiva	0,03		0,031	0,97	0,41	17,52	15,11	0,000003	10000	-0,035	10,80	71,5
Vindduk					0,00	17,93	15,46		20000	-0,071	10,76	69,6
Cellulosaisolering (icell)	0,17	0,0567	0,036	1,57	0,67	17,93	15,46	0,000024	2361	-0,008	10,69	69,2
		0,0567	0,036	1,57	0,67	18,59	16,03	0,000024	2361	-0,008	10,69	66,6
		0,0567	0,036	1,57	0,67	19,26	16,63	0,000024	2361	-0,008	10,68	64,2
Ångbroms					0,00	19,93	17,24		1100000	-3,895	10,67	61,9
Cellulosaisolering (icell)	0,17	0,0567	0,036	1,57	0,67	19,93	17,24	0,000024	2361	-0,008	6,77	39,3
		0,0567	0,036	1,57	0,67	20,59	17,87	0,000024	2361	-0,008	6,76	37,9
		0,0567	0,036	1,57	0,67	21,26	18,51	0,000024	2361	-0,008	6,76	36,5
Fibergips (fermacell)	0,013		0,32	0,04	0,02	21,93	19,17	0,0000036	3611	-0,013	6,75	35,2
Inre övergångsmotstånd (R _{si} , Z _{si})				0,13	0,06	21,94	19,18		360	-0,001	6,74	35,1
Inne						22,00	19,24				6,73	35,0
Summa				10,62	4,5				1148198			

Väggförslag A-hus

Februari

Material	d [m]	d [m]	λ-värde [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	T [°C]	vs [g/m ³]	δ-värde [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute						-1,2	4,41				3,40	82,0
Yttre övergångsmotstånd (R _{se} , Z _{se})				0,04	0,12				60	0,000	3,40	76,4
Fasadskiva	0,03		0,031	0,97	2,86	-1,08	4,45	0,000003	10000	0,029	3,43	62,1
Vindduk					0,00	1,78	5,53		20000	0,058	3,49	63,1
Cellulosaisolering (icell)	0,17	0,0567	0,036	1,57	4,65	1,78	5,53	0,000024	2361	0,007	3,49	45,6
		0,0567	0,036	1,57	4,65	6,44	7,67	0,000024	2361	0,007	3,50	33,8
		0,0567	0,036	1,57	4,65	11,09	10,35	0,000024	2361	0,007	3,51	25,7
Ångbroms					0,00	15,75	13,67		1100000	3,206	6,71	49,1
Cellulosaisolering (icell)	0,07	0,0233	0,036	0,65	1,92	15,75	13,67	0,000024	972	0,003	6,72	44,1
		0,0233	0,036	0,65	1,92	17,66	15,23	0,000024	972	0,003	6,72	39,7
		0,0233	0,036	0,65	1,92	19,58	16,92	0,000024	972	0,003	6,72	35,9
Fibergips (fermacell)	0,013		0,32	0,04	0,12	21,50	18,74	0,0000036	3611	0,011	6,73	35,7
Inre övergångsmotstånd (R _{si} , Z _{si})				0,13	0,38	21,62	18,86			0,001	6,73	35,0
Inne						22,00	19,24					
Summa				7,85	23,2				1144031			

Juli

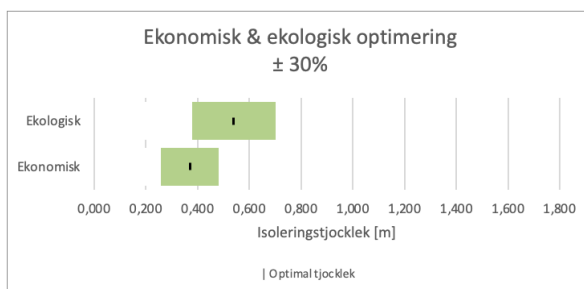
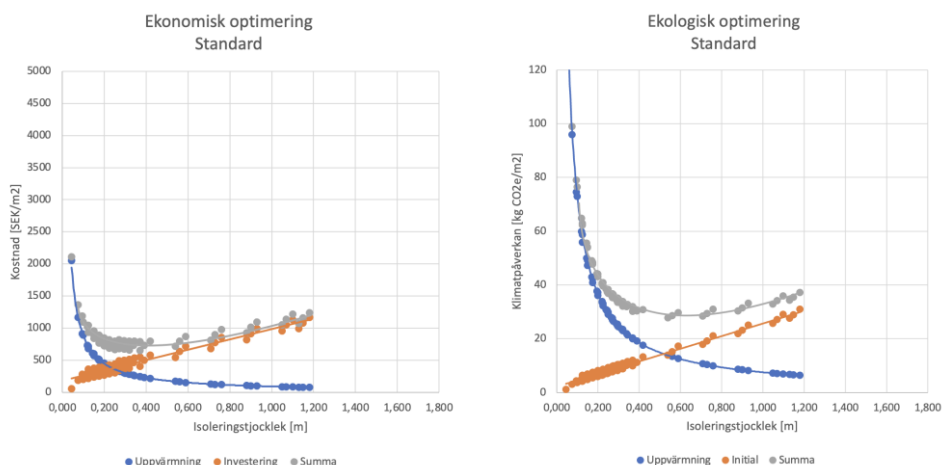
Material	d [m]	d [m]	λ-värde [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	T [°C]	vs [g/m ³]	δ-värde [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
Ute						17,50	15,09				10,80	73,0
Yttre övergångsmotstånd (R _{se} , Z _{se})				0,04	0,02				60	0,000	10,80	71,5
Fasadskiva	0,03		0,031	0,97	0,56	17,52	15,11	0,000003	10000	-0,036	10,76	69,1
Vindduk					0,00	18,08	15,59		20000	-0,071	10,69	68,6
Cellulosaisolering (icell)	0,17	0,0567	0,036	1,57	0,90	18,08	15,59	0,000024	2361	-0,008	10,68	65,2
		0,0567	0,036	1,57	0,90	18,98	16,38	0,000024	2361	-0,008	10,68	62,1
		0,0567	0,036	1,57	0,90	19,88	17,20	0,000024	2361	-0,008	10,67	59,1
Ångbroms					0,00	20,79	18,05		1100000	-3,910	6,76	37,4
Cellulosaisolering (icell)	0,07	0,0233	0,036	0,65	0,37	20,79	18,05	0,000024	972	-0,003	6,75	36,7
		0,0233	0,036	0,65	0,37	21,16	18,41	0,000024	972	-0,003	6,75	36,0
		0,0233	0,036	0,65	0,37	21,53	18,77	0,000024	972	-0,003	6,75	35,3
Fibergips (fermacell)	0,013		0,32	0,04	0,02	21,90	19,14	0,0000036	3611	-0,013	6,74	35,1
Inre övergångsmotstånd (R _{si} , Z _{si})				0,13	0,07	21,93	19,17			-0,001	6,73	35,0
Inne						22,00	19,24					
Summa				7,85	4,5				1144031			

Bilaga 6: Ekonomisk och ekologisk optimering

Standard

Tjocklek Glasull fasad	Tjocklek Glasull	Tjocklek summa	U-värde	Q	Uppvärmningskostnad	Inv.kostnad Glasull fasad	Inv.kostnad Glasull	Inv.kostnad Summa	Summa kostnad	Al-AS Glasull fasad	Al-AS Glasull	Al-AS Summa	B6	Summa Klimatpåverkan
[m]	[m]	[m]	[W/m ² K]	[kWh/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]
0,000	0,045	0,045	0,78	4541	2051	0	60	60	2110	0	1,05	1,0	168	169,1
0,03	0,045	0,075	0,44	2591	1170	130	60	190	1360	1,97	1,05	3,0	96	98,9
0,05	0,045	0,095	0,34	2014	910	220	60	280	1190	3,28	1,05	4,3	75	78,8
0,08	0,045	0,125	0,26	1510	682	305	60	364	1046	5,25	1,05	6,3	56	62,2
0,03	0,070	0,100	0,34	1967	888	130	73	204	1092	1,97	1,63	3,6	73	76,4
0,05	0,070	0,120	0,28	1616	730	220	73	293	1023	3,28	1,63	4,9	60	64,7
0,08	0,070	0,150	0,22	1274	576	305	73	378	953	5,25	1,63	6,9	47	54,0
0,03	0,095	0,125	0,27	1586	716	130	89	219	935	1,97	2,21	4,2	59	62,8
0,05	0,095	0,145	0,23	1349	609	220	89	309	918	3,28	2,21	5,5	50	55,4
0,08	0,095	0,175	0,19	1103	498	305	89	393	891	5,25	2,21	7,5	41	48,3
0,03	0,120	0,150	0,23	1328	600	130	107	238	838	1,97	2,79	4,8	49	53,9
0,05	0,120	0,170	0,20	1158	523	220	107	328	851	3,28	2,79	6,1	43	48,9
0,08	0,120	0,200	0,17	972	439	305	107	412	851	5,25	2,79	8,0	36	44,0
0,03	0,145	0,175	0,20	1142	516	130	125	256	771	1,97	3,37	5,3	42	47,6
0,05	0,145	0,195	0,17	1014	458	220	125	345	803	3,28	3,37	6,7	38	44,2
0,08	0,145	0,225	0,15	868	392	305	125	430	822	5,25	3,37	8,6	32	40,7
0,03	0,170	0,200	0,17	1002	453	130	138	269	721	1,97	3,96	5,9	37	43,0
0,05	0,170	0,220	0,15	902	407	220	138	358	766	3,28	3,96	7,2	33	40,6
0,08	0,170	0,250	0,13	785	354	305	138	443	797	5,25	3,96	9,2	29	38,2
0,030	0,190	0,220	0,16	913	412	130	185	315	728	1,97	4,42	6,4	34	40,2
0,050	0,190	0,240	0,14	829	374	220	185	405	779	3,28	4,42	7,7	31	38,4
0,080	0,190	0,270	0,12	729	329	305	185	489	819	5,25	4,42	9,7	27	36,6
0,03	0,195	0,225	0,15	893	403	130	155	286	689	1,97	4,54	6,5	33	39,5
0,05	0,195	0,245	0,14	813	367	220	155	376	743	3,28	4,54	7,8	30	37,9
0,08	0,195	0,275	0,12	716	323	305	155	460	783	5,25	4,54	9,8	26	36,3
0,030	0,215	0,245	0,14	821	371	130	198	329	699	1,97	5,00	7,0	30	37,3
0,050	0,215	0,265	0,13	753	340	220	198	418	758	3,28	5,00	8,3	28	36,1
0,080	0,215	0,295	0,11	669	302	305	198	503	805	5,25	5,00	10,2	25	35,0
0,03	0,220	0,250	0,14	805	363	130	172	303	666	1,97	5,12	7,1	30	36,9
0,05	0,220	0,270	0,13	739	334	220	172	392	726	3,28	5,12	8,4	27	35,7
0,08	0,220	0,300	0,11	658	297	305	172	477	774	5,25	5,12	10,4	24	34,7
0,03	0,240	0,270	0,13	746	337	130	211	342	679	1,97	5,59	7,6	28	35,2
0,05	0,240	0,290	0,12	689	311	220	211	432	743	3,28	5,59	8,9	26	34,4
0,08	0,240	0,320	0,11	619	279	305	211	516	795	5,25	5,59	10,8	23	33,7
0,03	0,265	0,295	0,12	684	309	130	233	363	672	1,97	6,17	8,1	25	33,4
0,05	0,265	0,315	0,11	636	287	220	233	453	740	3,28	6,17	9,4	24	33,0
0,08	0,265	0,345	0,10	575	260	305	233	537	797	5,25	6,17	11,4	21	32,7
0,03	0,290	0,330	0,11	631	285	130	246	376	661	1,97	6,75	8,7	23	32,1
0,05	0,290	0,340	0,10	590	266	220	246	466	732	3,28	6,75	10,0	22	31,8
0,08	0,290	0,370	0,09	537	243	305	246	550	793	5,25	6,75	12,0	20	31,9
0,03	0,340	0,370	0,09	547	247	130	277	407	654	1,97	7,91	9,9	20	30,1
0,05	0,340	0,390	0,09	515	233	220	277	497	729	3,28	7,91	11,2	19	30,3
0,08	0,340	0,420	0,08	475	214	305	277	581	796	5,25	7,91	13,2	18	30,7
0,030	0,510	0,540	0,06	376	170	130	415	545	715	1,97	11,87	13,8	14	27,7
0,050	0,510	0,560	0,06	361	163	220	415	635	798	3,28	11,87	15,1	13	28,5
0,080	0,510	0,590	0,06	340	154	305	415	719	873	5,25	11,87	17,1	13	29,7
0,030	0,680	0,710	0,05	286	129	130	553	684	813	1,97	15,82	17,8	11	28,4
0,050	0,680	0,730	0,05	277	125	220	553	773	899	3,28	15,82	19,1	10	29,4
0,080	0,680	0,760	0,05	265	120	305	553	858	978	5,25	15,82	21,1	10	30,9
0,030	0,850	0,880	0,04	231	104	130	691	822	926	1,97	19,78	21,7	9	30,3
0,050	0,850	0,900	0,04	225	102	220	691	912	1013	3,28	19,78	23,1	8	31,4
0,080	0,850	0,930	0,04	217	98	305	691	996	1094	5,25	19,78	25,0	8	33,1
0,030	1,020	1,050	0,03	194	88	130	830	960	1048	1,97	23,74	25,7	7	32,9
0,050	1,020	1,070	0,03	190	86	220	830	1050	1136	3,28	23,74	27,0	7	34,0
0,080	1,020	1,100	0,03	184	83	305	830	1134	1217	5,25	23,74	29,0	7	35,8
0,030	1,100	1,130	0,03	180	81	130	861	992	1073	1,97	25,60	27,6	7	34,2
0,050	1,100	1,150	0,03	177	80	220	861	1081	1161	3,28	25,60	28,9	7	35,4
0,080	1,100	1,180	0,03	172	78	305	861	1166	1243	5,25	25,60	30,8	6	37,2

A-hus standardutförande
Förbättringsförslag A-hus
Optimala värden
Optimal vägg

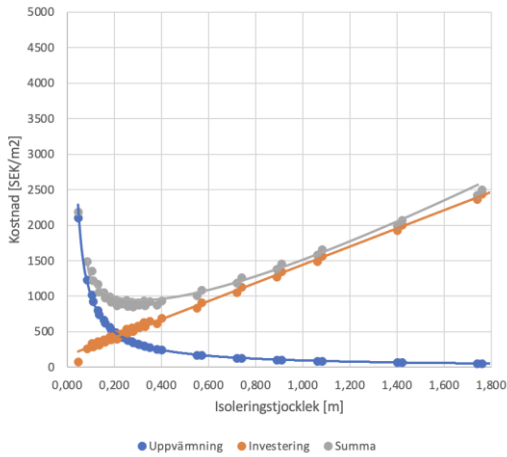


Klivet

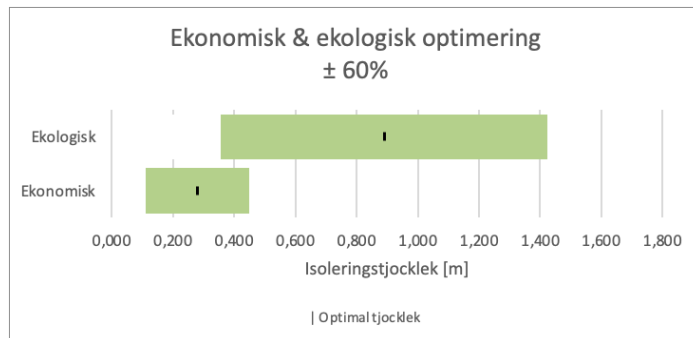
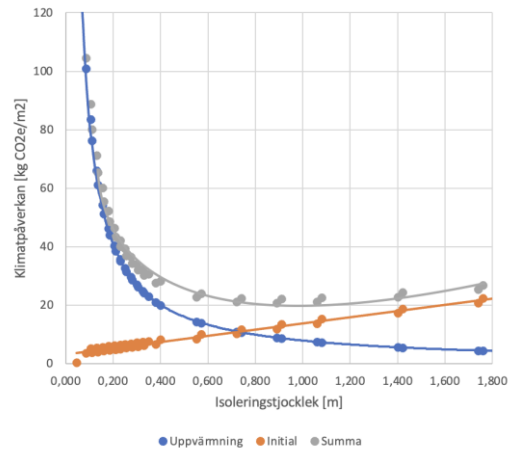
Tjocklek Träfiber	Tjocklek Cellulosa	Tjocklek Summa	U-värde	Q	Uppvärmningskostnad	Inv.kostnad Träfiber	Inv.kostnad Cellulosa	Inv.kostnad Summa	Summa Kostnad	A1-A5 Träfiber	A1-A5 Cellulosa	A1-A5 Summa	R6	Summa Klimatpåverkan
[m]	[m]	[m]	[W/m2K]	[kWh/m2]	[SEK/m2]	[SEK/m2]	[SEK/m2]	[SEK/m2]	[SEK/m2]	[kgCO2e/m2]	[kgCO2e/m2]	[kgCO2e/m2]	[kgCO2e/m2]	[kgCO2e/m2]
0,000	0,045	0,045	0,80	4670	2109	0	79	79	2188	0	0,47	0,5	173	173,3
0,04	0,045	0,085	0,47	2729	1233	182	79	262	1494	3,12	0,47	3,6	101	104,6
0,06	0,045	0,105	0,39	2260	1021	259	79	338	1359	4,69	0,47	5,2	84	88,8
0,04	0,070	0,110	0,35	2060	931	182	106	288	1219	3,12	0,73	3,9	76	80,1
0,06	0,070	0,130	0,31	1781	804	259	106	365	1170	4,69	0,73	5,4	66	71,3
0,04	0,095	0,135	0,28	1655	747	182	133	315	1063	3,12	0,99	4,1	51	65,3
0,06	0,095	0,155	0,25	1470	664	259	133	392	1056	4,69	0,99	5,7	54	60,1
0,04	0,120	0,160	0,24	1383	624	182	171	353	977	3,12	1,25	4,4	51	55,5
0,06	0,120	0,180	0,21	1251	565	259	171	430	995	4,69	1,25	5,9	46	52,2
0,04	0,145	0,185	0,20	1187	536	182	205	388	924	3,12	1,51	4,6	44	48,6
0,06	0,145	0,205	0,19	1089	492	259	205	465	956	4,69	1,51	6,2	40	46,5
0,04	0,170	0,210	0,18	1040	470	182	219	401	871	3,12	1,77	4,9	38	43,4
0,06	0,170	0,230	0,17	964	435	259	219	478	913	4,69	1,77	6,5	36	42,1
0,04	0,190	0,230	0,16	947	428	182	285	467	895	3,12	1,98	5,1	35	40,1
0,06	0,190	0,250	0,15	883	399	259	285	544	943	4,69	1,98	6,7	33	39,3
0,04	0,215	0,255	0,15	851	384	182	298	480	864	3,12	2,24	5,4	31	36,8
0,06	0,215	0,275	0,14	799	361	259	298	557	918	4,69	2,24	6,9	30	36,5
0,04	0,240	0,280	0,13	773	349	182	325	507	856	3,12	2,50	5,6	29	34,2
0,06	0,240	0,300	0,13	730	330	259	325	584	913	4,69	2,50	7,2	27	34,2
0,04	0,265	0,305	0,12	708	320	182	376	558	878	3,12	2,76	5,9	26	32,1
0,06	0,265	0,325	0,12	671	303	259	376	635	938	4,69	2,76	7,4	25	32,3
0,04	0,290	0,330	0,11	653	295	182	389	571	866	3,12	3,02	6,1	24	30,3
0,06	0,290	0,350	0,11	622	281	259	389	648	929	4,69	3,02	7,7	23	30,7
0,04	0,340	0,390	0,10	566	255	182	437	619	875	3,12	3,54	6,2	21	27,6
0,06	0,340	0,400	0,09	542	245	259	437	696	941	4,69	3,54	8,2	20	28,3
0,04	0,510	0,550	0,07	388	175	182	656	838	1013	3,12	5,31	8,4	14	22,8
0,06	0,510	0,570	0,06	377	170	259	656	915	1085	4,69	5,31	10,0	14	23,9
0,04	0,680	0,720	0,05	295	133	182	874	1056	1190	3,12	7,08	10,2	11	21,1
0,06	0,680	0,740	0,05	289	130	259	874	1133	1264	4,69	7,08	11,8	11	22,5
0,04	0,850	0,890	0,04	238	108	182	1093	1275	1383	3,12	8,86	12,0	9	20,8
0,06	0,850	0,910	0,04	234	106	259	1093	1352	1458	4,69	8,86	13,5	9	22,2
0,04	1,020	1,060	0,03	200	90	182	1311	1494	1584	3,12	10,63	13,8	7	21,1
0,06	1,020	1,080	0,03	197	89	259	1311	1570	1659	4,69	10,63	15,3	7	22,6
0,04	1,360	1,400	0,03	151	68	182	1748	1931	1999	3,12	14,17	17,3	6	22,9
0,06	1,360	1,420	0,03	149	67	259	1748	2007	2075	4,69	14,17	18,9	6	24,4
0,04	1,700	1,740	0,02	121	55	182	2185	2368	2422	3,12	17,71	20,8	4	25,3
0,06	1,700	1,760	0,02	120	54	259	2185	2444	2499	4,69	17,71	22,4	4	26,8
0,04	2,040	2,080	0,02	101	46	182	2622	2805	2851	3,12	21,25	24,4	4	28,1
0,06	2,040	2,100	0,02	101	45	259	2622	2882	2927	4,69	21,25	25,9	4	29,7

A-hus standardutförande
Optimala värden
Optimal vägg

Ekonomisk optimering
Klivet



Ekologisk optimering
Klivet

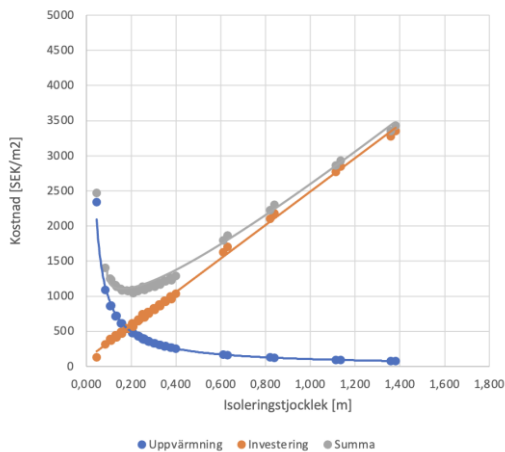


A: Träfiber och hampa

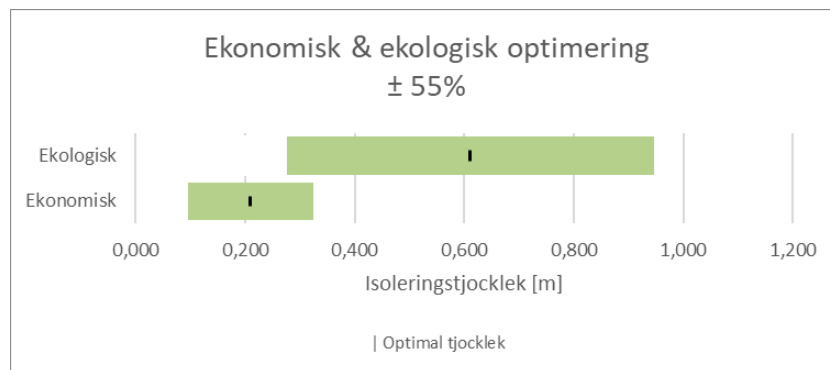
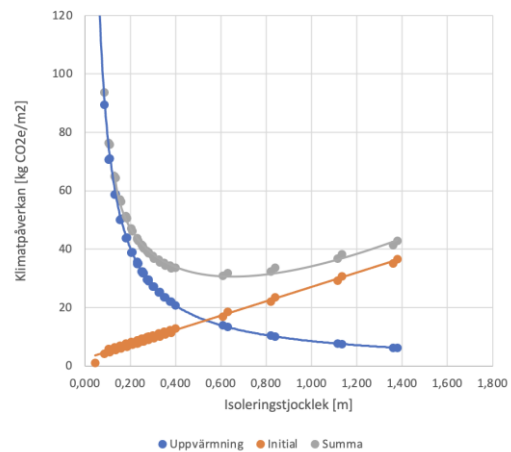
Tjocklek Träfiber	Tjocklek Hampa	Tjocklek Summa	U-värde	Q	Uppvärmingskostnad	Inv.kostnad Träfiber	Inv.kostnad Hampa	Inv.kostnad Summa	Summa Kostnad	A1-A5 Träfiber	A1-A5 Hampa	A1-A5 Hampa inkl. biogen	A1-A5 Summa exkl. biogen	A1-A5 Summa inkl. biogen	B6	Summa Klimatpåverkan exkl. biogen	Summa Klimatpåverkan inkl. biogen
[m]	[m]	[m]	[W/m²K]	[kWh/m²]	[SEK/m²]	[SEK/m²]	[SEK/m²]	[SEK/m²]	[SEK/m²]	[kgCO₂e/m²]	[kgCO₂e/m²]	[kgCO₂e/m²]	[kgCO₂e/m²]	[kgCO₂e/m²]	[kgCO₂e/m²]	[kgCO₂e/m²]	[kgCO₂e/m²]
0,000	0,045	0,045	0,89	5389	2344	0	128	128	2472	0	1,09	-0,89	1,11	-0,9	192	193,1	192,1
0,04	0,045	0,085	0,41	2417	1092	182	128	311	1402	3,12	1,09	-0,89	4,2	-2,2	89	93,6	95,9
0,06	0,045	0,105	0,33	1908	861	259	128	387	1249	4,69	1,09	-0,89	5,8	3,8	71	76,4	80,2
0,04	0,070	0,110	0,33	1920	867	182	184	366	1233	3,12	1,70	-1,38	4,8	1,7	71	75,9	77,6
0,06	0,070	0,130	0,27	1584	715	259	184	443	1158	4,69	1,70	-1,38	6,4	3,3	59	65,0	68,3
0,04	0,095	0,135	0,27	1593	719	182	232	414	1134	3,12	2,30	-1,88	5,4	1,2	59	64,4	65,6
0,06	0,095	0,155	0,23	1354	612	259	232	491	1103	4,69	2,30	-1,88	7,0	2,8	50	57,1	59,9
0,04	0,120	0,160	0,23	1361	615	182	287	469	1084	3,12	2,91	-2,37	6,0	0,8	50	56,4	57,1
0,06	0,120	0,180	0,20	1183	534	259	287	546	1080	4,69	2,91	-2,37	7,6	2,3	44	51,4	53,7
0,04	0,145	0,185	0,20	1188	536	182	353	535	1072	3,12	3,51	-2,87	6,6	0,3	44	50,6	50,8
0,06	0,145	0,205	0,18	1050	474	259	353	612	1086	4,69	3,51	-2,87	8,2	1,8	39	47,0	48,9
0,04	0,170	0,210	0,18	1054	476	182	388	571	1047	3,12	4,12	-3,36	7,2	-0,2	39	46,2	46,0
0,06	0,170	0,230	0,16	944	426	259	388	648	1074	4,69	4,12	-3,36	8,8	1,3	35	43,7	45,1
0,04	0,190	0,230	0,17	967	436	182	481	663	1100	3,12	4,60	-3,76	7,7	-0,6	36	43,5	43,9
0,06	0,190	0,250	0,15	873	394	259	481	740	1135	4,69	4,60	-3,76	9,3	0,9	32	41,6	42,5
0,04	0,195	0,235	0,16	947	428	182	479	662	1089	3,12	4,73	-3,85	7,8	-0,7	35	42,9	42,2
0,06	0,195	0,255	0,15	857	387	259	479	738	1125	4,69	4,73	-3,85	9,4	0,8	32	41,1	42,0
0,04	0,215	0,255	0,15	876	396	182	517	699	1095	3,12	5,21	-4,25	8,3	-1,1	32	40,7	39,6
0,06	0,215	0,275	0,14	799	361	259	517	776	1136	4,69	5,21	-4,25	9,9	0,4	30	39,4	39,9
0,04	0,220	0,260	0,15	860	388	182	515	698	1086	3,12	5,33	-4,35	8,5	-1,2	32	40,3	39,0
0,06	0,220	0,280	0,13	785	355	259	515	775	1129	4,69	5,33	-4,35	10,0	-0,3	29	39,1	39,4
0,04	0,240	0,280	0,14	801	362	182	572	755	1118	3,12	5,82	-4,74	8,9	-1,6	30	38,6	38,9
0,06	0,240	0,300	0,13	736	332	259	572	831	1164	4,69	5,82	-4,74	10,5	-0,1	27	37,7	37,7
0,04	0,265	0,305	0,13	738	333	182	620	803	1136	3,12	6,42	-5,24	9,5	-2,1	27	36,8	34,7
0,06	0,265	0,325	0,12	682	308	259	620	879	1187	4,69	6,42	-5,24	11,1	-0,6	25	36,3	35,8
0,04	0,290	0,330	0,12	684	309	182	675	858	1166	3,12	7,03	-5,73	10,2	-2,6	25	35,4	32,8
0,06	0,290	0,350	0,11	636	287	259	675	934	1221	4,69	7,03	-5,73	11,7	-1,0	24	35,2	34,2
0,04	0,315	0,355	0,11	637	288	182	741	924	1211	3,12	7,63	-6,23	10,8	-3,1	24	34,3	31,2
0,06	0,315	0,375	0,10	595	269	259	741	1000	1269	4,69	7,63	-6,23	12,3	-1,5	22	34,3	32,8
0,04	0,340	0,380	0,10	596	269	182	777	959	1228	3,12	8,24	-6,72	11,4	-3,6	22	33,4	29,8
0,06	0,340	0,400	0,10	559	253	259	777	1036	1289	4,69	8,24	-6,72	12,9	-2,0	21	33,6	31,6
0,04	0,570	0,610	0,06	376	170	182	1444	1626	1796	3,12	13,81	-11,27	16,9	-8,1	14	30,8	22,7
0,06	0,570	0,630	0,06	361	163	259	1444	1703	1866	4,69	13,81	-11,27	18,5	-6,6	13	31,8	25,3
0,04	0,780	0,830	0,05	281	127	182	1917	2099	2226	3,12	18,90	-15,42	22,0	-12,3	10	32,4	20,1
0,06	0,780	0,840	0,05	272	123	259	1917	2176	2299	4,69	18,90	-15,42	23,6	-10,7	10	33,7	22,9
0,04	1,075	1,115	0,04	207	94	182	2584	2766	2859	3,12	26,05	-21,25	29,2	-18,1	8	36,8	18,7
0,06	1,075	1,135	0,03	203	92	259	2584	2843	2934	4,69	26,05	-21,25	30,7	-16,6	7	38,2	21,7
0,04	1,320	1,360	0,03	170	77	182	3092	3275	3352	3,12	31,99	-26,09	35,1	-23,0	6	41,4	18,4
0,06	1,320	1,380	0,03	167	75	259	3092	3351	3427	4,69	31,99	-26,09	36,7	-21,4	6	42,9	21,4

Optimala värden
Optimal vägg

Ekonomisk optimering
Träfiber & Hampa



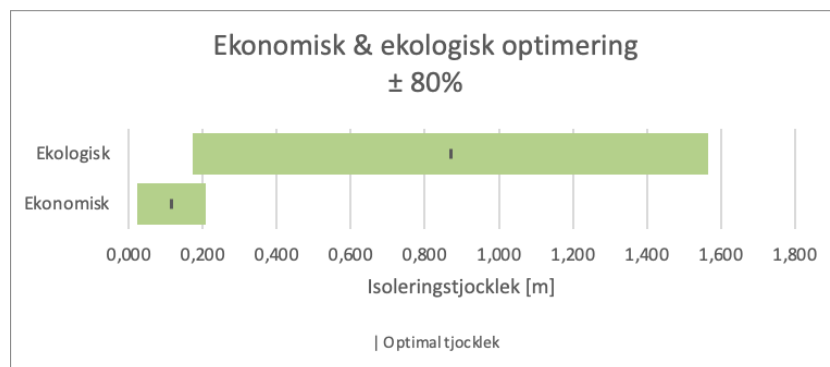
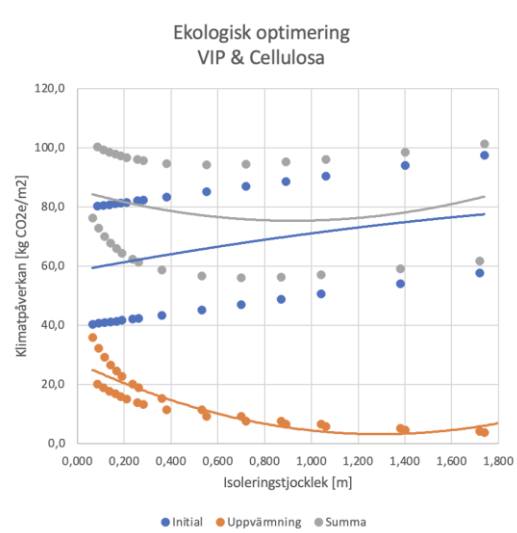
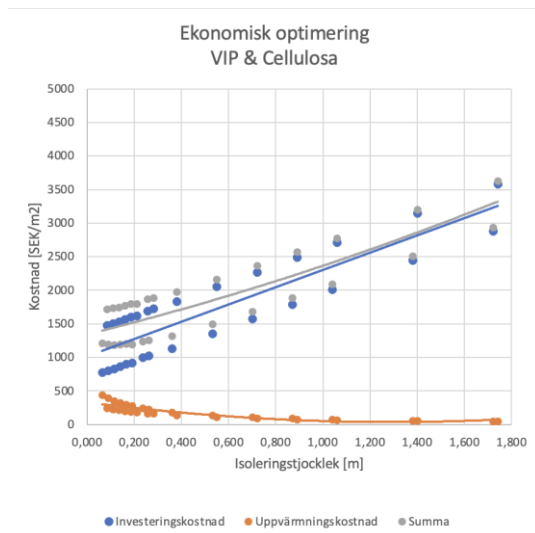
Ekologisk optimering
Träfiber & Hampa



B: VIP och cellulosa

Tjocklek VIP [m]	Tjocklek Cellulosa [m]	Tjocklek Summa [m]	U-värde [W/m2K]	Q [kWh/m2]	Uppvärmningskostnad [SEK/m2]	Inv.kostnad VIP [SEK/m2]	Inv.kostnad Cellulosa [SEK/m2]	Inv.kostnad Summa [SEK/m2]	Summa Kostnad [SEK/m2]	A1-AS VIP [kgCO2e/m2]	A1-AS Cellulosa [kgCO2e/m2]	A1-AS Summa [kgCO2e/m2]	R6 [kgCO2e/m2]	Summa Klimatpåverkan [kgCO2e/m2]
0,020	0,045	0,065	0,17	971	439	700	79	779	1218	40	0,47	40,4	36	76,3
0,040	0,045	0,085	0,09	542	245	1400	79	1479	1724	80	0,47	80,3	20	100,4
0,020	0,070	0,090	0,15	871	393	700	106	806	1199	40	0,73	40,7	32	72,9
0,040	0,070	0,110	0,09	509	230	1400	106	1506	1736	80	0,73	80,6	19	99,4
0,020	0,095	0,115	0,14	789	356	700	133	833	1189	40	0,99	40,9	29	70,1
0,040	0,095	0,135	0,08	480	217	1400	133	1533	1750	80	0,99	80,8	18	98,6
0,020	0,120	0,140	0,12	721	326	700	171	871	1196	40	1,25	41,2	27	67,9
0,040	0,120	0,160	0,08	454	205	1400	171	1571	1776	80	1,25	81,1	17	97,9
0,020	0,145	0,165	0,11	664	300	700	205	905	1205	40	1,51	41,4	25	66,0
0,040	0,145	0,185	0,07	431	195	1400	205	1605	1800	80	1,51	81,4	16	97,3
0,020	0,170	0,190	0,11	616	278	700	219	919	1197	40	1,77	41,7	23	64,5
0,040	0,170	0,210	0,07	410	185	1400	219	1619	1804	80	1,77	81,6	15	96,8
0,020	0,215	0,235	0,09	544	246	700	298	998	1243	40	2,24	42,2	20	62,3
0,040	0,215	0,255	0,06	377	170	1400	298	1698	1868	80	2,24	82,1	14	96,0
0,020	0,240	0,260	0,09	511	231	700	325	1025	1255	40	2,50	42,4	19	61,3
0,040	0,240	0,280	0,06	361	163	1400	325	1725	1888	80	2,50	82,4	13	95,7
0,020	0,340	0,360	0,07	411	186	700	437	1137	1323	40	3,54	43,5	15	58,7
0,040	0,340	0,380	0,05	308	139	1400	437	1837	1976	80	3,54	83,4	11	94,8
0,020	0,510	0,530	0,05	308	139	700	656	1356	1495	40	5,31	45,2	11	56,7
0,040	0,510	0,550	0,04	246	111	1400	656	2056	2167	80	5,31	85,2	9	94,3
0,020	0,680	0,700	0,04	247	111	700	874	1574	1686	40	7,08	47,0	9	56,1
0,040	0,680	0,720	0,04	205	93	1400	874	2274	2367	80	7,08	86,9	8	94,5
0,020	0,850	0,870	0,04	206	93	700	1093	1793	1886	40	8,86	48,8	8	56,4
0,040	0,850	0,890	0,03	176	80	1400	1093	2493	2572	80	8,86	88,7	7	95,2
0,020	1,020	1,040	0,03	176	80	700	1311	2011	2091	40	10,63	50,6	7	57,1
0,040	1,020	1,060	0,03	154	70	1400	1311	2711	2781	80	10,63	90,5	6	96,2
0,020	1,360	1,380	0,02	137	62	700	1748	2448	2510	40	14,17	54,1	5	59,2
0,040	1,360	1,400	0,02	123	56	1400	1748	3148	3204	80	14,17	94,0	5	98,6
0,020	1,700	1,720	0,02	112	51	700	2185	2885	2936	40	17,71	57,6	4	61,8
0,040	1,700	1,740	0,02	103	46	1400	2185	3585	3632	80	17,71	97,6	4	101,4

Optimala värden
Optimal vägg

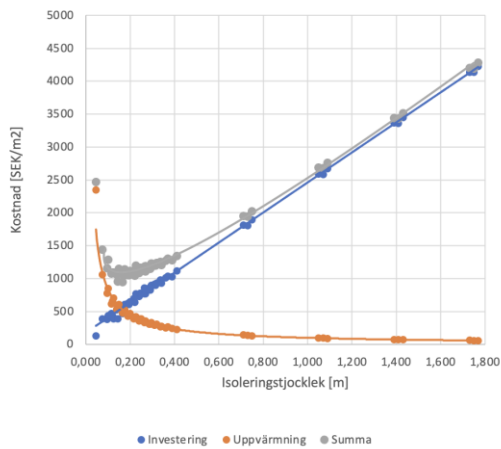


C: PIR och hampa

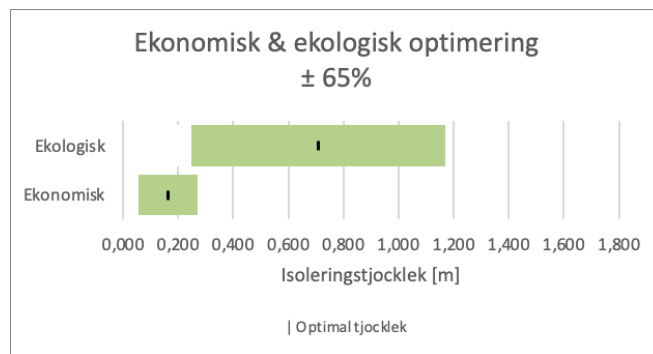
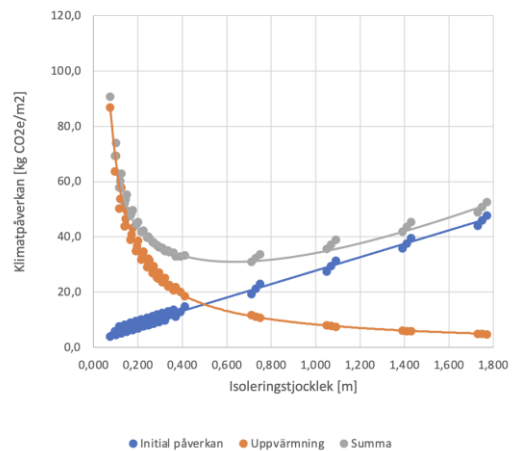
Tjocklek PIR [m]	Tjocklek Hampa [m]	Tjocklek Summa [m]	U-värde [W/m²K]	Q [kWh/m²]	Uppvärmningskostnad [SEK/m²]	Inv.kostnad PIR [SEK/m²]	Inv.kostnad Hampa [SEK/m²]	Inv.kostnad Summa [SEK/m²]	Summa Kostnad [SEK/m²]	A1-A5 PIR [kgCO₂e/m²]	A1-A5 Hampa [kgCO₂e/m²]	A1-A5 Hampa inkl. biogen [kgCO₂e/m²]	A1-A5 Summa [kgCO₂e/m²]	A1-A5 Summa inkl biogen [kgCO₂e/m²]	B6 [kgCO₂e/m²]	Summa klimatpåverkan exkl biogen [kgCO₂e/m²]	Summa klimatpåverkan inkl biogen [kgCO₂e/m²]
0,00	0,045	0,045	0,89	1389	2344	2344	0	128	128	2472	0	0,09	1,1	-0,9	192	192	192
0,03	0,045	0,075	0,40	2346	1059	256	128	384	1444	2,83	1,09	-0,89	3,9	1,9	87	90,7	88,7
0,05	0,045	0,095	0,29	1718	776	254	128	382	1158	4,72	1,09	-0,89	5,8	3,8	64	69,4	67,4
0,07	0,045	0,115	0,23	1356	612	339	128	467	1079	6,61	1,09	-0,89	7,7	5,7	50	57,9	55,9
0,03	0,070	0,100	0,32	1875	847	256	184	440	1287	2,83	1,70	-1,38	4,5	1,5	69	73,9	70,8
0,05	0,070	0,120	0,25	1451	655	254	184	438	1093	4,72	1,70	-1,38	6,4	3,3	54	57,0	57,0
0,07	0,070	0,140	0,20	1184	535	339	184	523	1057	6,61	1,70	-1,38	8,3	5,2	44	52,1	49,0
0,03	0,095	0,125	0,27	1562	705	256	133	389	1094	2,83	2,30	-1,88	5,1	1,0	58	62,9	58,7
0,05	0,095	0,145	0,22	1256	567	254	133	387	954	4,72	2,30	-1,88	7,0	2,8	46	53,5	49,3
0,07	0,095	0,165	0,18	1051	474	339	133	472	946	6,61	2,30	-1,88	8,9	4,7	39	47,8	43,6
0,03	0,120	0,150	0,23	1338	604	256	287	543	1147	2,83	2,91	-2,37	5,7	0,5	50	55,2	50,0
0,05	0,120	0,170	0,19	1107	500	254	287	541	1041	4,72	2,91	-2,37	7,6	2,4	41	48,6	43,3
0,07	0,120	0,190	0,16	944	426	339	287	626	1052	6,61	2,91	-2,37	9,5	4,2	35	44,5	39,2
0,03	0,145	0,175	0,20	1170	529	256	353	609	1138	2,83	3,51	-2,87	6,3	0,0	43	45,6	43,8
0,05	0,145	0,195	0,17	990	447	254	353	607	1054	4,72	3,51	-2,87	8,2	1,9	37	44,9	38,5
0,07	0,145	0,215	0,15	858	387	339	353	692	1079	6,61	3,51	-2,87	10,1	3,7	32	41,9	35,5
0,03	0,170	0,200	0,18	1040	470	256	388	645	1114	2,83	4,12	-3,36	7,0	-0,5	38	45,4	38,0
0,05	0,170	0,220	0,15	895	404	254	388	642	1046	4,72	4,12	-3,36	8,8	1,4	33	42,0	34,5
0,07	0,170	0,240	0,13	786	355	339	388	727	1082	6,61	4,12	-3,36	10,7	3,3	29	39,8	32,3
0,03	0,195	0,225	0,16	936	423	256	515	772	1194	2,83	4,73	-3,85	7,6	-1,0	35	42,2	33,6
0,05	0,195	0,245	0,14	817	369	254	515	769	1138	4,72	4,73	-3,85	9,4	0,9	30	39,7	31,1
0,07	0,195	0,265	0,12	725	327	339	515	854	1182	6,61	4,73	-3,85	11,3	2,8	27	37,1	29,6
0,03	0,215	0,245	0,15	866	391	256	517	773	1164	2,83	5,21	-4,25	8,0	-1,4	32	40,1	30,6
0,05	0,215	0,265	0,13	763	345	254	517	771	1115	4,72	5,21	-4,25	9,9	0,5	28	38,2	28,7
0,07	0,215	0,285	0,12	682	308	339	517	856	1164	6,61	5,21	-4,25	11,8	2,4	25	37,1	27,6
0,03	0,220	0,250	0,15	851	384	256	515	772	1156	2,83	5,33	-4,35	8,2	-1,5	31	39,6	30,0
0,05	0,220	0,270	0,13	751	339	254	515	769	1108	4,72	5,33	-4,35	10,1	0,4	28	37,8	28,2
0,07	0,220	0,290	0,12	672	304	339	515	854	1158	6,61	5,33	-4,35	11,9	2,3	25	36,8	27,1
0,03	0,240	0,270	0,14	793	358	256	572	828	1187	2,83	5,82	-4,74	8,6	-1,9	29	38,0	27,4
0,05	0,240	0,290	0,12	706	319	254	572	826	1149	4,72	5,82	-4,74	10,5	0,0	26	36,6	26,1
0,07	0,240	0,310	0,11	636	287	339	572	911	1198	6,61	5,82	-4,74	12,4	1,9	24	36,0	25,4
0,03	0,265	0,295	0,13	731	330	256	644	900	1230	2,83	6,42	-5,24	9,3	-2,4	27	36,3	24,6
0,05	0,265	0,315	0,11	656	296	254	644	897	1194	4,72	6,42	-5,24	11,1	-0,5	24	35,4	23,8
0,07	0,265	0,335	0,10	595	269	339	644	983	1251	6,61	6,42	-5,24	13,0	1,4	22	35,1	23,4
0,03	0,290	0,320	0,12	678	306	256	675	931	1248	2,83	7,03	-5,73	9,9	-2,9	25	34,9	22,2
0,05	0,290	0,340	0,11	613	277	254	675	929	1206	4,72	7,03	-5,73	11,8	-1,0	23	34,4	21,6
0,07	0,290	0,360	0,10	560	253	339	675	1014	1267	6,61	7,03	-5,73	13,6	0,9	21	34,3	21,7
0,03	0,340	0,370	0,10	592	267	256	777	1033	1300	2,83	8,24	-6,72	11,1	-3,9	22	33,0	18,0
0,05	0,340	0,390	0,09	542	245	254	777	1031	1275	4,72	8,24	-6,72	13,0	-2,0	20	33,0	18,1
0,07	0,340	0,410	0,09	500	226	339	777	1116	1341	6,61	8,24	-6,72	14,9	-0,1	18	33,3	18,4
0,03	0,680	0,710	0,05	318	144	256	1554	1810	1953	2,83	16,48	-13,44	19,3	-10,6	12	31,1	1,2
0,05	0,680	0,730	0,05	303	137	254	1554	1808	1944	4,72	16,48	-13,44	21,2	-8,7	11	32,4	2,5
0,07	0,680	0,750	0,05	289	131	339	1554	1893	2023	6,61	16,48	-13,44	23,1	-6,8	11	33,8	3,6
0,03	1,020	1,050	0,04	217	98	256	2331	2587	2685	2,83	24,72	-20,16	27,6	-17,3	8	35,6	-9,3
0,05	1,020	1,070	0,04	210	95	254	2331	2584	2679	4,72	24,72	-20,16	29,4	-15,4	8	37,2	-7,7
0,07	1,020	1,090	0,03	204	92	339	2331	2669	2761	6,61	24,72	-20,16	31,3	-13,6	8	38,9	-6,0
0,03	1,360	1,390	0,03	165	75	256	3107	3364	3438	2,83	32,96	-26,88	35,8	-24,0	6	41,9	-17,9
0,05	1,360	1,410	0,03	161	73	254	3107	3361	3434	4,72	32,96	-26,88	37,7	-22,2	6	43,6	-16,2
0,07	1,360	1,430	0,03	157	71	339	3107	3446	3517	6,61	32,96	-26,88	39,6	-20,3	6	45,4	-14,5
0,03	1,700	1,730	0,02	133	60	256	3884	4140	4201	2,83	41,20	-33,60	44,0	-30,8	5	49,0	-25,8
0,05	1,700	1,750	0,02	130	59	254	3884	4138	4197	4,72	41,20	-33,60	45,9	-28,9	5	50,7	-24,1
0,07	1,700	1,770	0,02	128	58	339	3884	4223	4281	6,61	41,20	-33,60	47,8	-27,0	5	52,5	-22,3

Förbättringsförslag A-hus
Optimala värden
Optimal vägg

Ekonomisk optimering
PIR & Hampa



Ekologisk optimering
PIR & Hampa

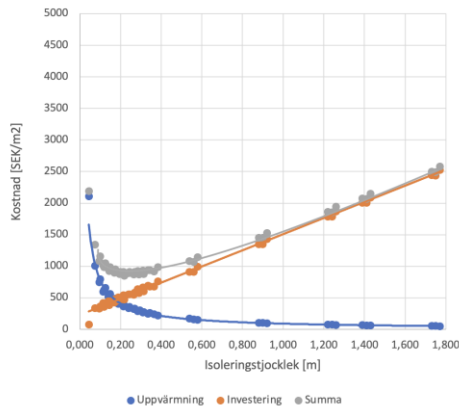


D: PIR och cellulosa

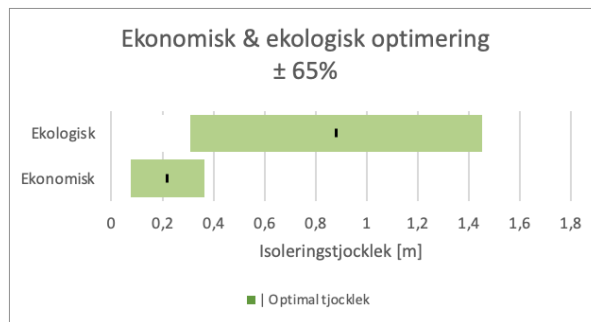
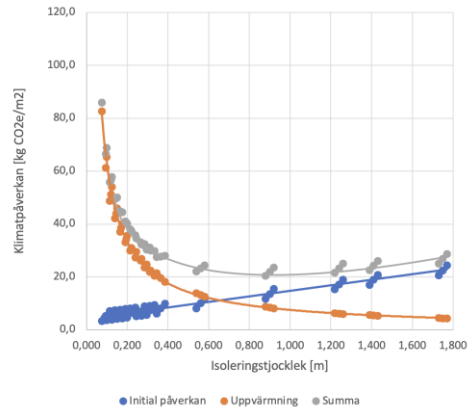
Tjocklek PIR	Tjocklek Cellulosa	Tjocklek Summa	U-värde	Q	Uppvärmningskostnad	Inv.kostnad PIR	Inv.kostnad Cellulosa	Inv.kostnad Summa	Summa Kostnad	A1-AS PIR	A1-AS Cellulosa	A1-AS Summa	R6	Summa Klimatpåverkan
[m]	[m]	[m]	[W/m2K]	[kWh/m2]	[SEK/m2]	[SEK/m2]	[SEK/m2]	[SEK/m2]	[SEK/m2]	[kgCO2e/m2]	[kgCO2e/m2]	[kgCO2e/m2]	[kgCO2e/m2]	[kgCO2e/m2]
0,000	0,045	0,045	0,80	4670	2109	0	79	79	2188	0	0,47	0,5	173	173,3
0,03	0,045	0,075	0,38	2234	1009	256	79	335	1344	2,83	0,47	3,3	83	85,9
0,05	0,045	0,095	0,28	1657	748	254	79	333	1081	4,72	0,47	5,2	61	66,5
0,07	0,045	0,115	0,23	1317	595	339	79	418	1013	6,61	0,47	7,1	49	55,8
0,03	0,070	0,100	0,30	1765	797	256	106	362	1159	2,83	0,73	3,6	65	68,9
0,05	0,070	0,120	0,24	1384	625	254	106	360	985	4,72	0,73	5,5	51	56,7
0,07	0,070	0,140	0,20	1139	514	339	106	445	959	6,61	0,73	7,3	42	49,5
0,03	0,095	0,125	0,25	1459	659	256	133	389	1048	2,83	0,99	3,8	54	57,8
0,05	0,095	0,145	0,20	1189	537	254	133	387	924	4,72	0,99	5,7	44	49,7
0,07	0,095	0,165	0,17	1003	453	339	133	472	925	6,61	0,99	7,6	37	44,7
0,03	0,120	0,150	0,21	1243	561	256	171	427	988	2,83	1,25	4,1	46	50,1
0,05	0,120	0,170	0,18	1041	470	254	171	424	895	4,72	1,25	6,0	39	44,5
0,07	0,120	0,190	0,15	896	405	339	171	509	914	6,61	1,25	7,9	33	41,0
0,03	0,145	0,175	0,19	1083	489	256	205	462	951	2,83	1,51	4,3	40	44,4
0,05	0,145	0,195	0,16	927	418	254	205	459	878	4,72	1,51	6,2	34	40,5
0,07	0,145	0,215	0,14	810	366	339	205	544	910	6,61	1,51	8,1	30	38,1
0,03	0,170	0,200	0,16	959	433	256	219	475	908	2,83	1,77	4,6	35	40,1
0,05	0,170	0,220	0,14	835	377	254	219	472	849	4,72	1,77	6,5	31	37,4
0,07	0,170	0,240	0,13	739	334	339	219	557	891	6,61	1,77	8,4	27	35,7
0,03	0,215	0,245	0,14	796	359	256	298	554	913	2,83	2,24	5,1	29	34,5
0,05	0,215	0,265	0,12	708	320	254	298	552	871	4,72	2,24	7,0	26	33,2
0,07	0,215	0,285	0,11	638	288	339	298	637	925	6,61	2,24	8,9	24	32,4
0,03	0,240	0,270	0,12	727	328	256	325	581	909	2,83	2,50	5,3	27	32,2
0,05	0,240	0,290	0,11	653	295	254	325	578	873	4,72	2,50	7,2	24	31,4
0,07	0,240	0,310	0,10	593	268	339	325	664	931	6,61	2,50	9,1	22	31,0
0,03	0,265	0,295	0,11	669	302	256	352	608	910	2,83	2,76	5,6	25	30,4
0,05	0,265	0,315	0,10	606	274	254	352	605	879	4,72	2,76	7,5	22	29,9
0,07	0,265	0,335	0,09	554	250	339	352	690	941	6,61	2,76	9,4	20	29,9
0,03	0,315	0,345	0,10	577	261	256	424	680	941	2,83	3,28	6,1	21	27,5
0,05	0,315	0,365	0,09	530	239	254	424	678	917	4,72	3,28	8,0	20	27,6
0,07	0,315	0,385	0,08	489	221	339	424	763	984	6,61	3,28	9,9	18	28,0
0,03	0,510	0,540	0,06	376	170	256	656	912	1082	2,83	5,31	8,1	14	22,1
0,05	0,510	0,560	0,06	355	160	254	656	909	1070	4,72	5,31	10,0	13	23,2
0,07	0,510	0,580	0,06	337	152	339	656	995	1147	6,61	5,31	11,9	12	24,4
0,03	0,850	0,880	0,04	234	106	256	1093	1349	1454	2,83	8,86	11,7	9	20,3
0,05	0,850	0,900	0,04	226	102	254	1093	1347	1448	4,72	8,86	13,6	8	21,9
0,07	0,850	0,920	0,04	218	98	339	1093	1432	1530	6,61	8,86	15,5	8	23,5
0,03	1,190	1,220	0,03	170	77	256	1530	1786	1863	2,83	12,40	15,2	6	21,5
0,05	1,190	1,240	0,03	165	75	254	1530	1784	1858	4,72	12,40	17,1	6	23,2
0,07	1,190	1,260	0,03	161	73	339	1530	1869	1941	6,61	12,40	19,0	6	25,0
0,03	1,360	1,390	0,03	149	67	256	1748	2005	2072	2,83	14,17	17,0	6	22,5
0,05	1,360	1,410	0,02	146	66	254	1748	2002	2068	4,72	14,17	18,9	5	24,3
0,07	1,360	1,430	0,02	143	64	339	1748	2087	2152	6,61	14,17	20,8	5	26,1
0,03	1,700	1,730	0,02	120	54	256	2185	2442	2496	2,83	17,71	20,5	4	25,0
0,05	1,700	1,750	0,02	118	53	254	2185	2439	2492	4,72	17,71	22,4	4	26,8
0,07	1,700	1,770	0,02	116	52	339	2185	2524	2577	6,61	17,71	24,3	4	28,6

Förbättringsförslag A-hus
Optimala värden
Optimal vägg

Ekonomisk optimering
PIR & Cellulosa



Ekologisk optimering
PIR & Cellulosa



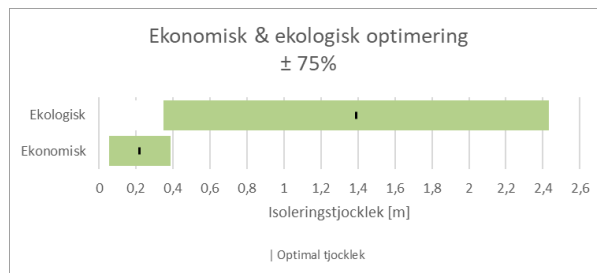
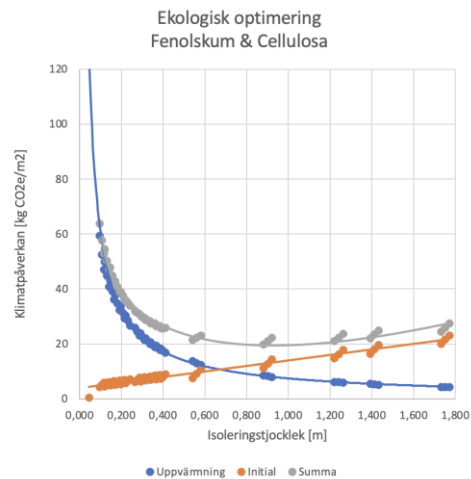
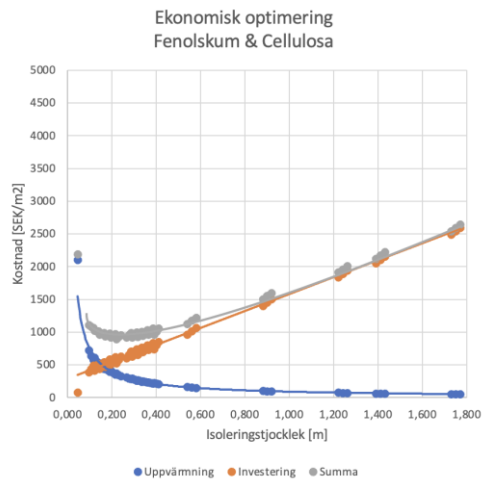
E: Fenolskum och hampa

Tjocklek Fenolskum [m]	Tjocklek Hampa [m]	Tjocklek Summa [m]	U-värde [W/m2K]	Q [kWh/m2]	Uppvärmingskostnad [SEK/m2]	Inv.kostnad Fenolskum [SEK/m2]	Inv.kostnad Hampa [SEK/m2]	Inv.kostnad Summa [SEK/m2]	Summa Kostnad [SEK/m2]	A1-A5 Fenolskum [kgCO2e/m2]	A1-A5 Hampa [kgCO2e/m2]	A1-A5 Hampa inkl. biogen [kgCO2e/m2]	A1-A5 Summa [kgCO2e/m2]	A1-A5 Summa inkl. biogen [kgCO2e/m2]	B6 [kgCO2e/m2]	Summa Klimatpåverkan exkl. biogen [kgCO2e/m2]	Summa Klimatpåverkan inkl. biogen [kgCO2e/m2]
0,000	0,045	0,045	0,89	5189	2344	0	128	128	2472	0	1,09	-0,89	1,1	-0,9	192	193,1	191,1
0,05	0,045	0,095	0,28	1655	752	307	128	435	1187	4,72	1,09	-0,89	5,8	3,8	62	67,4	65,4
0,06	0,045	0,105	0,25	1466	662	360	128	489	1151	5,67	1,09	-0,89	6,8	4,8	54	61,0	59,0
0,07	0,045	0,115	0,22	1309	591	413	128	542	1133	6,61	1,09	-0,89	7,7	5,7	48	56,2	54,2
0,08	0,045	0,125	0,20	1181	536	466	128	594	1129	7,56	1,09	-0,89	8,5	6,6	42	52,7	50,7
0,09	0,045	0,135	0,18	1075	494	519	128	645	1127	8,51	1,09	-0,89	9,3	7,5	36	49,8	47,8
0,10	0,045	0,145	0,17	997	450	572	128	697	1127	9,46	1,09	-0,89	10,1	8,4	30	47,4	45,4
0,11	0,045	0,155	0,16	922	416	625	128	750	1127	10,41	1,09	-0,89	10,9	9,3	24	45,5	43,5
0,12	0,045	0,165	0,15	859	389	678	128	802	1127	11,36	1,09	-0,89	11,7	10,2	18	44,2	42,2
0,13	0,045	0,175	0,14	807	367	731	128	854	1127	12,31	1,09	-0,89	12,5	11,1	12	43,4	41,4
0,14	0,045	0,185	0,13	764	349	784	128	906	1127	13,26	1,09	-0,89	13,3	12,0	6	43,1	41,1
0,15	0,045	0,195	0,12	729	334	837	128	958	1127	14,21	1,09	-0,89	14,1	12,9	0	43,0	41,0
0,16	0,045	0,205	0,11	701	321	890	128	1010	1127	15,16	1,09	-0,89	14,9	13,8	0	43,0	41,0
0,17	0,045	0,215	0,11	679	310	943	128	1062	1127	16,11	1,09	-0,89	15,7	14,7	0	43,0	41,0
0,18	0,045	0,225	0,11	661	300	996	128	1114	1127	17,06	1,09	-0,89	16,5	15,6	0	43,0	41,0
0,19	0,045	0,235	0,11	646	291	1049	128	1166	1127	18,01	1,09	-0,89	17,3	16,5	0	43,0	41,0
0,20	0,045	0,245	0,11	634	283	1092	128	1218	1127	18,96	1,09	-0,89	18,1	17,4	0	43,0	41,0
0,21	0,045	0,255	0,11	624	276	1135	128	1270	1127	19,91	1,09	-0,89	18,9	18,3	0	43,0	41,0
0,22	0,045	0,265	0,11	616	270	1178	128	1322	1127	20,86	1,09	-0,89	19,7	19,2	0	43,0	41,0
0,23	0,045	0,275	0,11	610	265	1221	128	1374	1127	21,81	1,09	-0,89	20,5	20,1	0	43,0	41,0
0,24	0,045	0,285	0,11	605	261	1264	128	1426	1127	22,76	1,09	-0,89	21,3	21,0	0	43,0	41,0
0,25	0,045	0,295	0,11	601	258	1307	128	1478	1127	23,71	1,09	-0,89	22,1	21,9	0	43,0	41,0
0,26	0,045	0,305	0,11	598	256	1350	128	1530	1127	24,66	1,09	-0,89	22,9	22,8	0	43,0	41,0
0,27	0,045	0,315	0,11	596	255	1393	128	1582	1127	25,61	1,09	-0,89	23,7	23,7	0	43,0	41,0
0,28	0,045	0,325	0,11	595	255	1436	128	1634	1127	26,56	1,09	-0,89	24,5	24,6	0	43,0	41,0
0,29	0,045	0,335	0,11	595	255	1479	128	1686	1127	27,51	1,09	-0,89	25,3	25,5	0	43,0	41,0
0,30	0,045	0,345	0,11	596	255	1522	128	1738	1127	28,46	1,09	-0,89	26,1	26,4	0	43,0	41,0
0,31	0,045	0,355	0,11	597	255	1565	128	1790	1127	29,41	1,09	-0,89	26,9	27,2	0	43,0	41,0
0,32	0,045	0,365	0,11	598	255	1608	128	1842	1127	30,36	1,09	-0,89	27,7	28,0	0	43,0	41,0
0,33	0,045	0,375	0,11	599	255	1651	128	1894	1127	31,31	1,09	-0,89	28,5	28,8	0	43,0	41,0
0,34	0,045	0,385	0,11	600	255	1694	128	1946	1127	32,26	1,09	-0,89	29,3	29,6	0	43,0	41,0
0,35	0,045	0,395	0,11	601	255	1737	128	1998	1127	33,21	1,09	-0,89	30,1	30,4	0	43,0	41,0
0,36	0,045	0,405	0,11	602	255	1780	128	2050	1127	34,16	1,09	-0,89	30,9	31,2	0	43,0	41,0
0,37	0,045	0,415	0,11	603	255	1823	128	2102	1127	35,11	1,09	-0,89	31,7	32,0	0	43,0	41,0
0,38	0,045	0,425	0,11	604	255	1866	128	2154	1127	36,06	1,09	-0,89	32,5	32,8	0	43,0	41,0
0,39	0,045	0,435	0,11	605	255	1909	128	2206	1127	37,01	1,09	-0,89	33,3	33,6	0	43,0	41,0
0,40	0,045	0,445	0,11	606	255	1952	128	2258	1127	37,96	1,09	-0,89	34,1	34,4	0	43,0	41,0
0,41	0,045	0,455	0,11	607	255	1995	128	2310	1127	38,91	1,09	-0,89	34,9	35,2	0	43,0	41,0
0,42	0,045	0,465	0,11	608	255	2038	128	2362	1127	39,86	1,09	-0,89	35,7	36,0	0	43,0	41,0
0,43	0,045	0,475	0,11	609	255	2081	128	2414	1127	40,81	1,09	-0,89	36,5	36,8	0	43,0	41,0
0,44	0,045	0,485	0,11	610	255	2124	128	2466	1127	41,76	1,09	-0,89	37,3	37,6	0	43,0	41,0
0,45	0,045	0,495	0,11	611	255	2167	128	2518	1127	42,71	1,09	-0,89	38,1	38,4	0	43,0	41,0
0,46	0,045	0,505	0,11	612	255	2210	128	2570	1127	43,66	1,09	-0,89	38,9	39,2	0	43,0	41,0
0,47	0,045	0,515	0,11	613	255	2253	128	2622	1127	44,61	1,09	-0,89	39,7	40,0	0	43,0	41,0
0,48	0,045	0,525	0,11	614	255	2296	128	2674	1127	45,56	1,09	-0,89	40,5	40,8	0	43,0	41,0
0,49	0,045	0,535	0,11	615	255	2339	128	2726	1127	46,51	1,09	-0,89	41,3	41,6	0	43,0	41,0
0,50	0,045	0,545	0,11	616	255	2382	128	2778	1127	47,46	1,09	-0,89	42,1	42,4	0	43,0	41,0
0,51	0,045	0,555	0,11	617	255	2425	128	2830	1127	48,41	1,09	-0,89	42,9	43,2	0	43,0	41,0
0,52	0,045	0,565	0,11	618	255	2468	128	2882	1127	49,36	1,09	-0,89	43,7	44,0	0	43,0	41,0
0,53	0,045	0,575	0,11	619	255	2511	128	2934	1127	50,31	1,09	-0,89	44,5	44,8	0	43,0	41,0
0,54	0,045	0,585	0,11	620	255	2554	128	2986	1127	51,26	1,09	-0,89	45,3	45,6	0	43,0	41,0
0,55	0,045	0,595	0,11	621	255	2597	128	3038	1127	52,21	1,09	-0,89	46,1	46,4	0	43,0	41,0
0,56	0,045	0,605	0,11	622	255	2640	128	3090	1127	53,16	1,09	-0,89	46,9	47,2	0	43,0	41,0
0,57	0,045	0,615	0,11	623	255	2683	128	3142	1127	54,11	1,09	-0,89	47,7	48,0	0	43,0	41,0
0,58	0,045	0,625	0,11	624	255	2726	128	3194	1127	55,06	1,09	-0,89	48,5	48,8	0	43,0	41,0
0,59	0,045	0,635	0,11	625	255	2769	128	3246	1127	56,01	1,09	-0,89	49,3	49,6	0	43,0	41,0
0,60	0,045	0,645	0,11	626	255	2812	128	3298	1127	56,96	1,09	-0,89	50,1	50,4	0	43,0	41,0
0,61	0,045	0,655	0,11	627	255	2855	128	3350	1127	57,91	1,09	-0,89	50,9	51,2	0	43,0	41,0
0,62	0,045	0,665	0,11	628	255	2898	128	3402	1127	58,86	1,09	-0,89	51,7	52,0	0	43,0	41,0
0,63	0,045	0,675	0,11	629	255	2941	128	3454	1127	59,81	1,09	-0,89	52,5	52,8	0	43,0	41,0
0,64	0,045	0,685	0,11	630	255	2984	128	3506	1127	60,76	1,09	-0,89	53,3	53,6	0	43,0	41,0
0,65	0,045	0,695	0,11	631	255	3027	128	3558	1127	61,71	1,09	-0,89	54,1	54,4	0	43,0	41,0
0,66	0,045	0,705	0,11	632	255	3070	128	3610	1127	62,66	1,09	-0,89	54,9	55,2	0	43,0	41,0
0,67	0,045	0,715	0,11	633	255	3113	128	3662	1127	63,61	1,09	-0,89	55,7	56,0	0	43,0	41,0
0,68	0,045	0,725	0,11	634	255	3156	128	3714	1127	64,56	1,09	-0,89	56,5	56,8	0	43,0	41,0
0,69	0,045	0,735	0,11	635	255	3199	128	3766	1127	65,51	1,09	-0,89	57,3	57,6	0	43,0	41,0
0,70	0,045	0,745	0,11	636	255	3242	128	3818	1127	66,46	1,09	-0,89	58,1	58,4	0	43,0	41,0
0,71	0,045	0,755	0,11	637	255	3285	128	3870	1127	67,41	1,09	-0,89	58,9	59,2	0	43,0	41,0
0,72	0,045	0,765	0,11	638	255	3328	128	3922	1127	68,36	1,09	-0,89	59,7	60,0	0	43,0	41,0
0,73	0,045	0,775	0,11	639	255	3371	128	3974	1127	69,31	1,09	-0,89	60,5	60,8	0	43,0	41,0
0,74	0,045	0,785	0,11	640	255	3414	128	4026	1127	70,26	1,09	-0,89	61,3	61,6	0	43,0	41,0
0,75	0,045	0,795	0,11	641	255	3457	128	4078	1127	71,21	1,09	-0,89	62,1	62,4	0	43,0	41,0
0,76	0,045	0,805	0,11	642	255	3500	128	4130	1127	72,16	1,09	-0,89	62,9	63,2	0	43,0	41,0
0,77	0,045	0,															

F: Fenolskum och cellulosa

Tjocklek Fenolskum	Tjocklek Cellulosa	Tjocklek Summa	U-värde	Q	Uppvärmningskostnad	Inv.kostnad Fenolskum	Inv.kostnad Cellulosa	Inv.kostnad Summa	Summa Kostnad	A1-AS Fenolskum	A1-AS Cellulosa	A1-AS Summa	R6	Summa Klimatpåverkan
[m]	[m]	[m]	[W/m ² K]	[kWh/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]
0,000	0,045	0,045	0,80	4670	2109	0	79	79	2188	0	0,47	0,5	173	173,3
0,05	0,045	0,095	0,28	1608	726	307	79	386	1112	3,92	0,47	4,4	59	63,9
0,06	0,045	0,105	0,24	1421	642	360	79	440	1081	4,71	0,47	5,2	53	57,8
0,07	0,045	0,115	0,22	1274	575	413	79	493	1068	5,49	0,47	6,0	47	53,1
0,05	0,070	0,120	0,23	1350	610	307	106	413	1023	3,92	0,73	4,7	50	54,6
0,06	0,070	0,130	0,21	1216	549	360	106	466	1015	4,71	0,73	5,4	45	50,4
0,07	0,070	0,140	0,19	1106	500	413	106	520	1019	5,49	0,73	6,2	41	47,2
0,05	0,095	0,145	0,20	1163	525	307	133	440	965	3,92	0,99	4,9	43	47,9
0,06	0,095	0,155	0,18	1062	480	360	133	493	973	4,71	0,99	5,7	39	45,0
0,07	0,095	0,165	0,17	978	441	413	133	546	988	5,49	0,99	6,5	36	42,7
0,05	0,120	0,170	0,18	1022	461	307	171	478	939	3,92	1,25	5,2	38	43,0
0,06	0,120	0,180	0,16	943	426	360	171	531	957	4,71	1,25	6,0	35	40,9
0,07	0,120	0,190	0,15	876	395	413	171	584	979	5,49	1,25	6,7	32	39,1
0,05	0,145	0,195	0,16	911	411	307	205	512	924	3,92	1,51	5,4	34	39,1
0,06	0,145	0,205	0,15	848	383	360	205	566	949	4,71	1,51	6,2	31	37,6
0,07	0,145	0,215	0,14	793	358	413	205	619	977	5,49	1,51	7,0	29	36,3
0,05	0,170	0,220	0,14	822	371	307	219	526	897	3,92	1,77	5,7	30	36,1
0,06	0,170	0,230	0,13	770	348	360	219	579	927	4,71	1,77	6,5	28	35,0
0,07	0,170	0,240	0,12	725	327	413	219	632	959	5,49	1,77	7,3	27	34,1
0,05	0,215	0,265	0,12	699	316	307	298	605	920	3,92	2,24	6,2	26	32,0
0,06	0,215	0,275	0,11	661	299	360	298	658	957	4,71	2,24	6,9	24	31,4
0,07	0,215	0,285	0,11	627	283	413	298	711	995	5,49	2,24	7,7	23	30,9
0,05	0,240	0,290	0,11	645	291	307	325	632	923	3,92	2,50	6,4	24	30,3
0,06	0,240	0,300	0,11	613	277	360	325	685	962	4,71	2,50	7,2	23	29,9
0,07	0,240	0,310	0,10	584	264	413	325	738	1002	5,49	2,50	8,0	22	29,6
0,05	0,265	0,315	0,10	599	271	307	352	659	929	3,92	2,76	6,7	22	28,9
0,06	0,265	0,325	0,10	571	258	360	352	712	970	4,71	2,76	7,5	21	28,6
0,07	0,265	0,335	0,09	546	247	413	352	765	1012	5,49	2,76	8,3	20	28,5
0,05	0,290	0,340	0,10	559	253	307	389	696	949	3,92	3,02	6,9	21	27,6
0,06	0,290	0,350	0,09	535	242	360	389	749	991	4,71	3,02	7,7	20	27,5
0,07	0,290	0,360	0,09	513	231	413	389	803	1034	5,49	3,02	8,5	19	27,5
0,05	0,315	0,365	0,09	524	237	307	424	731	968	3,92	3,28	7,2	19	26,6
0,06	0,315	0,375	0,09	503	227	360	424	784	1011	4,71	3,28	8,0	19	26,6
0,07	0,315	0,385	0,08	483	218	413	424	837	1056	5,49	3,28	8,8	18	26,7
0,05	0,340	0,390	0,08	494	223	307	437	744	967	3,92	3,54	7,5	18	25,7
0,06	0,340	0,400	0,08	475	214	360	437	797	1012	4,71	3,54	8,3	18	25,8
0,07	0,340	0,410	0,08	457	206	413	437	851	1057	5,49	3,54	9,0	17	25,9
0,03	0,510	0,540	0,06	374	169	307	656	963	1132	2,35	5,31	7,7	14	21,5
0,05	0,510	0,560	0,06	353	159	360	656	1016	1175	3,92	5,31	9,2	13	22,3
0,07	0,510	0,580	0,06	334	151	413	656	1069	1220	5,49	5,31	10,8	12	23,2
0,03	0,850	0,880	0,04	233	105	307	1093	1400	1505	2,35	8,86	11,2	9	19,8
0,05	0,850	0,900	0,04	225	101	360	1093	1453	1554	3,92	8,86	12,8	8	21,1
0,07	0,850	0,920	0,04	217	98	413	1093	1506	1604	5,49	8,86	14,4	8	22,4
0,03	1,190	1,220	0,03	169	76	307	1530	1837	1913	2,35	12,40	14,8	6	23,0
0,05	1,190	1,240	0,03	165	74	360	1530	1890	1964	3,92	12,40	16,3	6	22,4
0,07	1,190	1,260	0,03	160	72	413	1530	1943	2016	5,49	12,40	17,9	6	23,8
0,03	1,360	1,390	0,03	149	67	307	1748	2055	2123	2,35	14,17	16,5	6	22,0
0,05	1,360	1,410	0,02	145	66	360	1748	2109	2174	3,92	14,17	18,1	5	23,5
0,07	1,360	1,430	0,02	142	64	413	1748	2162	2226	5,49	14,17	19,7	5	24,9
0,03	1,700	1,730	0,02	120	54	307	2185	2492	2547	2,35	17,71	20,1	4	24,5
0,05	1,700	1,750	0,02	118	53	360	2185	2546	2599	3,92	17,71	21,6	4	26,0
0,07	1,700	1,770	0,02	115	52	413	2185	2599	2651	5,49	17,71	23,2	4	27,5

Förbättringsförslag A-hus
Optimala värden
Optimal vägg

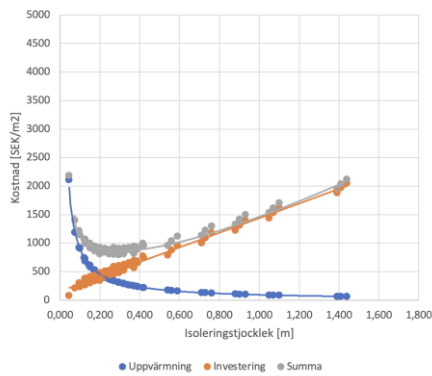


G: Glasull och cellulosa

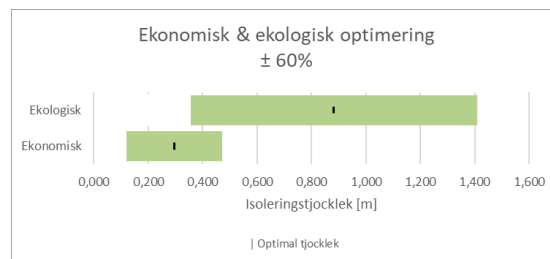
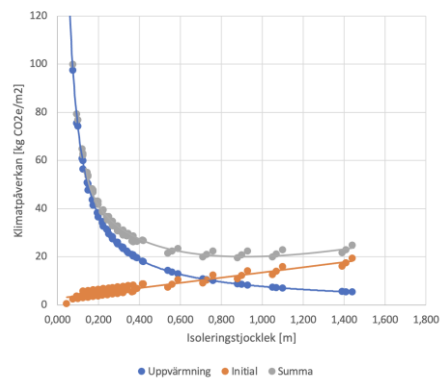
Tjocklek Glasull	Tjocklek Cellulosa	Tjocklek Summa	U-värde	Q	Uppvärmningskostnad	Inv-kostnad Glasull	Inv-kostnad Cellulosa	Inv-kostnad Summa	Summa Kostnad	A1-A5 Glasull	A1-A5 Cellulosa	A1-A5 Summa	R6	Summa Klimatpåverkan
[m]	[m]	[m]	[W/m ² K]	[kWh/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[SEK/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]	[kgCO ₂ e/m ²]
0,000	0,045	0,045	0,80	4670	2109	0	79	79	2188	0	0,47	0,5	173	173,3
0,030	0,045	0,075	0,45	2632	1189	130	79	210	1399	1,97	0,47	2,4	97	99,8
0,050	0,045	0,095	0,35	2039	921	220	79	299	1220	3,28	0,47	3,7	75	79,2
0,080	0,045	0,125	0,26	1524	688	305	79	384	1072	5,25	0,47	5,7	56	62,1
0,030	0,070	0,100	0,34	2005	905	130	106	237	1142	1,97	0,73	2,7	74	76,9
0,050	0,070	0,120	0,28	1641	741	220	106	326	1067	3,28	0,73	4,0	61	64,7
0,080	0,070	0,150	0,22	1290	583	305	106	411	993	5,25	0,73	6,0	48	53,7
0,030	0,095	0,125	0,28	1619	731	130	133	263	994	1,97	0,99	3,0	60	62,8
0,050	0,095	0,145	0,24	1373	620	220	133	353	973	3,28	0,99	4,3	51	55,1
0,080	0,095	0,175	0,19	1118	505	305	133	438	943	5,25	0,99	6,2	41	47,6
0,030	0,120	0,150	0,23	1357	613	130	171	301	914	1,97	1,25	3,2	50	53,4
0,050	0,120	0,170	0,20	1180	533	220	171	391	924	3,28	1,25	4,5	44	48,2
0,080	0,120	0,200	0,17	987	446	305	171	475	921	5,25	1,25	6,5	37	43,0
0,030	0,145	0,175	0,20	1169	528	130	205	336	864	1,97	1,51	3,5	43	46,7
0,050	0,145	0,195	0,18	1035	467	220	205	425	893	3,28	1,51	4,8	38	43,1
0,080	0,145	0,225	0,15	883	399	305	205	510	909	5,25	1,51	6,8	33	39,4
0,030	0,170	0,200	0,18	1026	463	130	219	349	812	1,97	1,77	3,7	38	41,7
0,050	0,170	0,220	0,16	922	416	220	219	439	855	3,28	1,77	5,0	34	39,1
0,080	0,170	0,250	0,14	799	361	305	219	523	884	5,25	1,77	7,0	30	36,6
0,030	0,190	0,220	0,16	935	422	130	285	415	837	1,97	1,98	3,9	35	38,5
0,050	0,190	0,240	0,15	847	383	220	285	505	887	3,28	1,98	5,3	31	36,6
0,080	0,190	0,270	0,13	743	336	305	285	589	925	5,25	1,98	7,2	27	34,7
0,030	0,215	0,245	0,14	841	380	130	298	428	808	1,97	2,24	4,2	31	35,3
0,050	0,215	0,265	0,13	770	348	220	298	518	865	3,28	2,24	5,5	28	34,0
0,080	0,215	0,295	0,12	683	308	305	298	602	911	5,25	2,24	7,5	25	32,7
0,030	0,240	0,270	0,13	765	345	130	325	455	800	1,97	2,50	4,5	28	32,8
0,050	0,240	0,290	0,12	705	318	220	325	545	863	3,28	2,50	5,8	26	31,9
0,080	0,240	0,320	0,11	631	285	305	325	629	914	5,25	2,50	7,7	23	31,1
0,030	0,265	0,295	0,12	701	317	130	352	482	799	1,97	2,76	4,7	26	30,7
0,050	0,265	0,315	0,11	651	294	220	352	572	865	3,28	2,76	6,0	24	30,1
0,080	0,265	0,345	0,10	587	265	305	352	656	921	5,25	2,76	8,0	22	29,7
0,030	0,290	0,320	0,11	647	292	130	389	520	812	1,97	3,02	5,0	24	28,9
0,050	0,290	0,340	0,10	604	273	220	389	609	882	3,28	3,02	6,3	22	28,6
0,080	0,290	0,370	0,09	549	248	305	389	694	942	5,25	3,02	8,3	20	28,6
0,030	0,335	0,365	0,10	568	257	130	468	599	855	1,97	3,49	5,5	21	26,5
0,050	0,335	0,385	0,09	535	241	220	468	688	930	3,28	3,49	6,8	20	26,6
0,080	0,335	0,415	0,08	491	222	305	468	773	995	5,25	3,49	8,7	18	26,9
0,030	0,340	0,370	0,10	561	253	130	437	568	821	1,97	3,54	5,5	21	26,3
0,050	0,340	0,390	0,09	528	238	220	437	657	896	3,28	3,54	6,8	20	26,4
0,080	0,340	0,420	0,08	485	219	305	437	742	961	5,25	3,54	8,8	18	26,8
0,030	0,510	0,540	0,07	386	174	130	656	786	960	1,97	5,31	7,3	14	21,6
0,050	0,510	0,560	0,06	370	167	220	656	876	1043	3,28	5,31	8,6	14	22,3
0,080	0,510	0,590	0,06	349	157	305	656	960	1118	5,25	5,31	10,6	13	23,5
0,030	0,680	0,710	0,05	294	133	130	874	1005	1137	1,97	7,08	9,1	11	19,9
0,050	0,680	0,730	0,05	285	129	220	874	1094	1223	3,28	7,08	10,4	11	20,9
0,080	0,680	0,760	0,05	272	123	305	874	1179	1302	5,25	7,08	12,3	10	22,4
0,030	0,850	0,880	0,04	238	107	130	1093	1223	1330	1,97	8,86	10,8	9	19,6
0,050	0,850	0,900	0,04	231	105	220	1093	1313	1417	3,28	8,86	12,1	9	20,7
0,080	0,850	0,930	0,04	223	101	305	1093	1397	1498	5,25	8,86	14,1	8	22,3
0,030	1,020	1,050	0,03	199	90	130	1311	1442	1532	1,97	10,63	12,6	7	20,0
0,050	1,020	1,070	0,03	195	88	220	1311	1531	1619	3,28	10,63	13,9	7	21,1
0,080	1,020	1,100	0,03	189	85	305	1311	1616	1701	5,25	10,63	15,9	7	22,9
0,030	1,360	1,390	0,03	151	68	130	1748	1879	1947	1,97	14,17	16,1	6	21,7
0,050	1,360	1,410	0,03	148	67	220	1748	1968	2035	3,28	14,17	17,4	5	22,9
0,080	1,360	1,440	0,02	145	65	305	1748	2053	2118	5,25	14,17	19,4	5	24,8

Förbättringsförslag A-hus
Optimala värden
Optimal vägg

Ekonomisk optimering
Glasull & Cellulosa



Ekologisk optimering
Glasull & Cellulosa

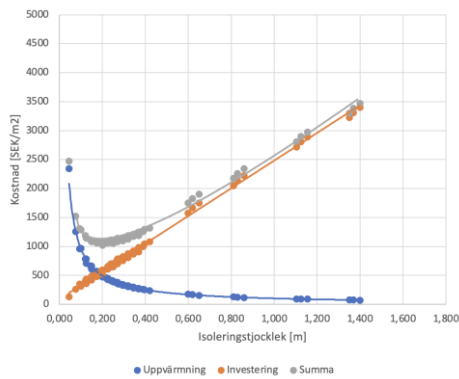


H: Glasull och hampa

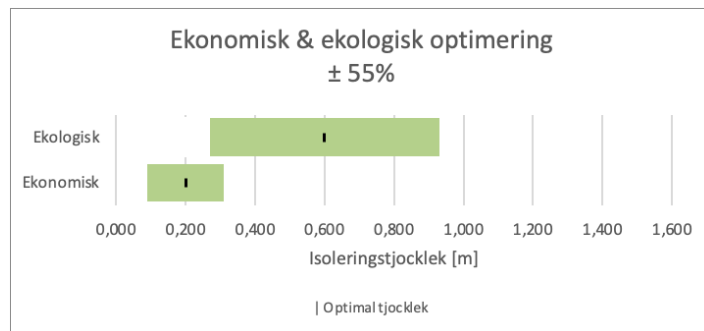
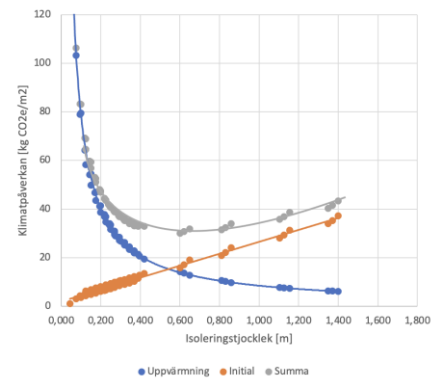
Tjocklek Glasull [m]	Tjocklek Hampa [m]	Tjocklek Summa [m]	U-värde [W/m2K]	Q [kWh/m2]	Uppvärmningskostnad [SEK/m2]	Inv.kostnad Glasull [SEK/m2]	Inv.kostnad Hampa [SEK/m2]	Inv.kostnad Summa [SEK/m2]	Summa Kostnad [SEK/m2]	A1-A5 Glasull [kgCO2e/m2]	A1-A5 Hampa [kgCO2e/m2]	A1-A5 Hampa inkl. biogen [kgCO2e/m2]	A1-A5 Summa exkl. biogen [kgCO2e/m2]	A1-A5 Summa inkl. biogen [kgCO2e/m2]	B6 [kgCO2e/m2]	Summa Klimatpåverkan exkl. biogen [kgCO2e/m2]	Summa Klimatpåverkan inkl. biogen [kgCO2e/m2]
0,000	0,045	0,045	0,88	5189	2344	0	128	128	2472	0	1,09	-0,89	1,1	-0,9	192	193,1	193,1
0,030	0,045	0,075	0,48	2790	1260	130,48	128	259	1519	1,97	1,09	-0,89	3,1	1,1	103	106,3	107,4
0,060	0,045	0,095	0,37	2132	963	220	128	348	1311	3,28	1,09	-0,89	4,4	2,4	79	83,3	85,7
0,080	0,045	0,125	0,27	1575	711	305	128	433	1144	5,25	1,09	-0,89	6,3	4,4	58	64,6	69,0
0,100	0,070	0,100	0,37	2148	970	130	184	314	1284	1,97	1,70	-1,38	3,7	0,6	79	83,1	83,7
0,150	0,070	0,120	0,30	1736	784	220	184	404	1188	3,28	1,70	-1,38	5,0	1,9	64	69,2	71,1
0,200	0,070	0,150	0,23	1348	609	305	184	488	1097	5,25	1,70	-1,38	6,9	3,9	50	56,8	60,7
0,300	0,095	0,125	0,30	1746	789	130	232	362	1151	1,97	2,30	-1,87	4,3	0,1	65	68,9	69,0
0,400	0,095	0,145	0,25	1464	661	220	232	452	1113	3,28	2,30	-1,87	5,6	1,4	54	59,7	61,2
0,500	0,095	0,175	0,20	1178	532	305	232	536	1068	5,25	2,30	-1,87	7,5	3,4	44	51,1	54,5
0,600	0,120	0,150	0,25	1471	664	130	287	417	1087	1,97	2,91	-2,36	4,9	-0,4	54	59,3	58,9
0,700	0,120	0,170	0,22	1266	572	220	287	507	1078	3,28	2,91	-2,36	6,2	0,9	47	53,0	53,9
0,800	0,120	0,200	0,18	1046	472	305	287	591	1064	5,25	2,91	-2,36	8,2	2,9	39	46,9	49,7
0,900	0,145	0,175	0,22	1271	574	130	353	483	1057	1,97	3,51	-2,85	5,5	-0,9	47	52,5	51,6
1,000	0,145	0,195	0,19	1115	503	220	353	573	1076	3,28	3,51	-2,85	6,8	0,4	41	48,0	48,5
1,100	0,145	0,225	0,16	941	425	305	353	657	1082	5,25	3,51	-2,85	8,8	2,4	35	43,6	46,0
1,200	0,170	0,200	0,19	1119	505	130	388	519	1028	1,97	4,12	-3,35	6,1	-1,4	41	47,5	46,1
1,300	0,170	0,235	0,17	996	450	220	388	609	1058	3,28	4,12	-3,35	7,4	-0,1	37	44,2	44,2
1,400	0,170	0,250	0,15	855	386	305	388	693	1079	5,25	4,12	-3,35	9,4	1,9	32	41,0	42,9
1,500	0,190	0,220	0,17	1021	461	130	481	612	1073	1,97	4,60	-3,74	6,6	-1,8	38	44,3	42,6
1,600	0,190	0,240	0,16	918	414	220	481	701	1116	3,28	4,60	-3,74	7,9	-0,5	34	41,8	41,4
1,700	0,190	0,270	0,14	796	360	305	481	786	1145	5,25	4,60	-3,74	9,8	1,5	29	39,3	40,8
1,800	0,195	0,225	0,17	999	451	130	479	610	1061	1,97	4,73	-3,84	6,7	-1,9	37	43,7	41,8
1,900	0,195	0,245	0,15	900	406	220	479	699	1106	3,28	4,73	-3,84	8,0	-0,6	33	41,3	40,7
2,000	0,195	0,275	0,13	783	354	305	479	784	1137	5,25	4,73	-3,84	10,0	1,4	29	38,9	40,3
2,100	0,215	0,245	0,16	920	416	130	517	647	1063	1,97	5,21	-4,23	7,3	-1,3	34	41,2	39,0
2,200	0,215	0,265	0,14	815	377	220	517	737	1114	3,28	5,21	-4,23	8,5	-1,0	31	39,4	38,4
2,300	0,215	0,295	0,13	734	331	305	517	821	1153	5,25	5,21	-4,23	10,5	1,0	27	37,6	38,6
2,400	0,220	0,250	0,15	903	408	130	515	646	1054	1,97	5,33	-4,33	7,3	-2,4	33	40,7	38,3
2,500	0,220	0,270	0,14	821	371	220	515	735	1106	3,28	5,33	-4,33	8,6	-1,1	30	39,0	37,9
2,600	0,220	0,290	0,12	722	326	305	515	820	1146	5,25	5,33	-4,33	10,6	0,9	27	37,9	38,2
2,700	0,240	0,270	0,14	838	378	130	572	703	1081	1,97	5,82	-4,73	7,8	-2,8	31	38,8	36,0
2,800	0,240	0,290	0,13	767	346	220	572	792	1139	3,28	5,82	-4,73	9,1	-1,4	28	37,5	36,0
2,900	0,240	0,320	0,12	680	307	305	572	877	1184	5,25	5,82	-4,73	11,1	0,5	25	36,2	36,8
3,000	0,265	0,295	0,13	769	347	130	630	751	1098	1,97	6,42	-5,22	8,4	-3,3	28	36,8	33,6
3,100	0,265	0,315	0,12	709	320	220	630	840	1160	3,28	6,42	-5,22	9,7	-1,9	26	35,9	34,0
3,200	0,265	0,345	0,11	634	286	305	630	925	1211	5,25	6,42	-5,22	11,7	0,0	23	35,1	35,2
3,300	0,290	0,320	0,12	710	321	130	675	806	1127	1,97	7,03	-5,71	9,0	-3,7	26	35,3	31,5
3,400	0,290	0,340	0,11	659	297	220	675	895	1197	3,28	7,03	-5,71	10,3	-2,4	24	34,7	32,2
3,500	0,290	0,370	0,10	594	268	305	675	980	1248	5,25	7,03	-5,71	12,3	-0,5	22	34,2	33,8
3,600	0,315	0,345	0,11	660	298	130	741	872	1170	1,97	7,63	-6,20	9,6	-4,2	24	34,0	29,8
3,700	0,315	0,365	0,11	615	278	220	741	961	1239	3,28	7,63	-6,20	10,9	-2,9	23	33,7	30,8
3,800	0,315	0,395	0,10	558	252	305	741	1046	1298	5,25	7,63	-6,20	12,9	-1,0	21	33,5	32,6
3,900	0,340	0,370	0,11	617	278	130	777	907	1186	1,97	8,24	-6,69	10,2	-4,7	23	33,0	28,8
4,000	0,340	0,390	0,10	577	261	220	777	997	1258	3,28	8,24	-6,69	11,5	-3,4	21	32,9	29,5
4,100	0,340	0,420	0,09	527	238	305	777	1081	1319	5,25	8,24	-6,69	13,5	-1,4	19	33,0	31,5
4,200	0,570	0,600	0,07	384	173	130	1444	1574	1747	1,97	13,81	-11,22	15,8	-9,3	14	30,0	20,7
4,300	0,570	0,620	0,06	368	166	220	1444	1664	1830	3,28	13,81	-11,22	17,1	-7,9	14	30,7	20,8
4,400	0,570	0,650	0,06	347	157	305	1444	1748	1905	5,25	13,81	-11,22	19,1	-6,0	13	31,9	25,9
4,500	0,780	0,810	0,05	285	129	130	1917	2047	2176	1,97	18,90	-15,36	20,9	-13,4	11	31,4	18,0
4,600	0,780	0,830	0,05	277	125	220	1917	2137	2262	3,28	18,90	-15,36	22,2	-12,1	10	32,4	20,3
4,700	0,780	0,860	0,05	264	119	305	1917	2222	2341	5,25	18,90	-15,36	24,1	-10,1	10	33,8	23,8
4,800	1,075	1,105	0,04	210	95	130	2584	2714	2809	1,97	26,05	-21,16	28,0	-19,2	8	36,8	16,0
4,900	1,075	1,125	0,04	205	93	220	2584	2804	2896	3,28	26,05	-21,16	29,3	-17,9	8	36,9	19,0
5,000	1,075	1,155	0,03	198	90	305	2584	2888	2978	5,25	26,05	-21,16	31,3	-15,9	7	38,6	22,7
5,100	1,320	1,350	0,03	172	78	130	3092	3223	3300	1,97	31,99	-25,99	34,0	-24,0	6	40,3	16,3
5,200	1,320	1,370	0,03	169	76	220	3092	3312	3389	3,28	31,99	-25,99	35,3	-22,7	6	41,5	18,8
5,300	1,320	1,400	0,03	164	74	305	3092	3397	3471	5,25	31,99	-25,99	37,2	-20,7	6	43,3	22,6

Optimala värden
Optimal vägg

**Ekonomisk optimering
Glasull & Hampa**



**Ekologisk optimering
Glasull & Hampa**



INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD
AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSTEKNOLOGI
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS