

Avdelningen för Byggnadsfysik
Examensarbete TVBH—21/5111
Lund 2021

Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

- Med fokus på klimatskalet

Louise Piltz Vitanc
Jasmine Svensson

Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

Med fokus på klimatskalet

Louise Piltz Vitanc
Jasmine Svensson

Examensarbete

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

© Louise Piltz Vitanc och Jasmine Svensson

ISRN LUTVDG/TVBH—21/5111—SE(113)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

Byggbranschen står för en stor del av klimatpåverkan när det gäller utsläpp av växthusgaser och energianvändning. Byggnader som är mer än 30 år har generellt ett renoveringsbehov i Sverige (Offentliga fastigheter, 2019). Av de byggnader som renoveras idag är det mindre än 1 % som renoveras för att förbättra energiprestanda (European commission, 2020). Detta arbete behandlar några av de miljömässiga utmaningar vid renovering som byggbranschen står inför. Syftet med detta arbete har varit att undersöka hur en befintlig byggnad kan förbättras genom renovering av klimatskalet ur ett miljömässigt hållbarhetsperspektiv. Den byggnad som har undersökts är Trelleborg Energis kontorsbyggnad. Trelleborg Energi vill följa sin kommuns mål som är att vara den mest klimatsmarta kommun i Sverige. Detta examensarbete har behandlat klimatskal och har utförts i samverkan med Alexandra Da Fonseca Bernardo och Diana Kron som har behandlat installationer (ISRN LUTVDG/TVIT-215080). Handledare för arbetet har varit Petter Wallentén och examinator har varit Kristina Mjörnell.

Olika material och komponenter har granskats ur ett livscykelperspektiv med avseende på miljöpåverkan samt energiperspektiv. Vid granskningarna har olika program som IDA ICE, ESBO, Renobuild samt Miljöbyggnad 3.1 använts. Med IDA ICE har en realistisk modell kunnat byggas upp för att sedan simulera olika förbättringar. ESBO har använts för att ta fram olika g-värden på system samt för att simulera olika fönstertyper. Renobuild är ett livscykelanalysverktyg som har använts vid jämförelse av olika material i fönsterkarmar och bågar. För att ha kunnat se hur byggnaden står sig mot en ny byggnad som uppförts i dagens läge har certifieringsramverket Miljöbyggnad 3.1, nybyggnation använts som en riktlinje.

Resultatet är att biobaserat träfiberisoleringsmaterial är mest miljömässigt hållbart av de undersökta materialen. Något som måste tas hänsyn till vid träfiberisoleringen är att det krävs en tjockare tilläggsisolering vilket kan leda till sekundära effekter på byggnaden. De nyare superisolerande materialen går inte att försvara ur miljösynpunkt. De superisolerande materialen kan vara användbara om konstruktionen på byggnaden kräver tunnare tilläggsisolering. Vanliga isoleringsmaterial som mineralull är generellt ett bra alternativ ur miljömässigt hållbarhetsperspektiv. Resultat om hur klimatskalet och installationer påverkar energianvändningen vid renovering har även tagits fram. Vid förbättring av enbart klimatskalet minskade byggnadens energianvändning med 63.5 %. I denna minskning stod taket för största delen av minskningen efter det tilläggsisolerades. Vid förbättring av både klimatskal och installationer minskade energianvändningen med 76.3 % i jämförelse med den befintliga byggnaden. Ytterligare ett resultat är Miljöbyggnad 3.1, nybyggnad. För indikatorerna 1,2 och 3 som är energiområdet i Miljöbyggnad 3.1 har det uppnåtts betyg guld för nybyggnad. Svårare har det varit för indikatorerna 9, 10 och 11 som handlar om inomhusmiljön.

Trots detta har byggnaden goda förutsättningar att bli mer hållbar ur ett miljöperspektiv genom förbättringar i klimatskalet. Vi har satt kraven högt och med en ytterligare utredning kan byggnaden förbättras ännu mer. Fönsterstorleken kan förstoras för att uppnå kraven på dagsljus eller eventuellt använda den smarta tekniken för att leda in

dagsljus i byggnaden. Man kan även vidare undersöka varför PPD är så högt under termiskt klimat för Fangers Comfortindex. Då kan det vara möjligt att ha en ännu högre standard enligt Miljöbyggnad 3.1 för nybyggnad på detta renoveringsförslag.

Nyckelord: renovering, hållbar, miljösmart, klimatskal, kontorsbyggnad, utvärdering av isoleringsmaterial och Miljöbyggnad 3.1.

Abstract

A large part of the greenhouse gas emissions and energy use comes from the construction industry. This thesis addresses some of the environmental and energy challenges the construction industry faces regarding renovating buildings. The examined building is Trelleborg Energi's headquarters. Programs such as IDA ICE, Espoo, Renobuild and Miljöbyggnad 3.1 have been used to review and obtain results. Various materials and components have been examined from a life cycle and energy perspective. Bio-based materials are most environmentally sustainable while the examined super-insulating materials cannot be defended from an environmental point of view. Ordinary materials such as mineral wool are generally a good alternative. When improving the building facade, energy use decreased by 63.5% and with both improved building façade and installations the energy resulting in a total energy decrease of 76.3%. The results show that there are many possibilities for environmental and energy improvements in the facade for buildings like this one.

Förord

Examensarbetet är skrivet för Byggande och Miljöteknologi vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Trelleborgs Energi. Detta arbete utgör den avslutande delen på Högskoleingenjörsprogrammet, Byggt teknik med arkitektur och är utfört under vårterminen 2021.

Vi vill tacka vår fantastiska handledare Petter Wallentén för värdefull handledning, vår examinator Kristina Mjörnell för rådgivning i LCA-frågor, Malin Plander från Miljöbron som introducerade oss för examensarbetet och Trelleborgs Energi.

Vi vill tacka Micael Bergqvist från Trelleborgs Energi, för att vi fick möjlighet till att undersöka byggnaden under en helg för att minska smittspridning av Covid-19. Tack till anställda på Trelleborgs Energi för den snabba responsen på våra frågor. Vi vill även tacka Alexandra Da Fonseca Bernardo och Diana Kron för ett fint samarbete mellan våra två examensarbeten om klimatskal och installationer.

Lund i juni 2021

Louise Piltz Vitanc & Jasmine Svensson

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	v
Abstract	vii
Förord	viii
Innehållsförteckning	ix
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och Mål	2
1.3 Avgränsningar	2
2 Teori och litteraturstudie	3
2.1 Viktiga begrepp	3
2.2 Renovering	5
2.2.1 Renovering av en byggnad	7
2.2.2 Tilläggsisolering av ventilerade tak.....	8
2.2.3 Tilläggsisolering av parallelltak	8
2.2.4 Tilläggsisolering av massiva tak.....	9
2.2.5 Renovering av väggar.....	9
2.2.6 Renovering av fönster.....	10
2.2.7 Tätning vid renovering	10
2.3 Isoleringsmaterial	11
2.3.1 Traditionella isoleringsmaterial	11
2.3.2 Superisoleringsmaterial	12
2.3.3 Biobaserade material	14
2.3.4 Framtidens material	17
2.4 Fönster och dörrar.....	19
2.4.1 Fönster	19
2.4.2 Dörrar	22
3 Byggnadens befintliga skick.....	23
3.1 60-talsdelen.....	24
3.2 80-talsdelen.....	25
3.3 Besök på plats.....	25
4 Metod.....	29
4.1 Samarbete	29
4.2 Val av material och komponenter.....	29
4.3 Simulering av klimatskal	29
4.4 Energisimulering av fönster.....	30
4.5 Livscykelutvärdering fönsterkarm och båge.....	30
4.6 Utvärdering av resultat	30
4.7 Renoveringsförslag.....	32
4.7.1 Jämförelse av isoleringsmaterial.....	32
4.7.2 Undersökning av tilläggsisoleringsmaterial på väggar.....	34
4.7.3 Undersökning av tilläggsmaterial på massiva taket.....	34
4.7.4 Undersökning av tilläggsmaterial i vind.....	34
4.7.5 Undersökning av fönsteralternativ.....	34
4.7.6 Undersökning av dörralternativ	35
4.8 Ingångsdata till beräkningar	35

4.8.1	Material.....	36
4.8.2	Väggar	36
4.8.3	Tak.....	37
4.8.4	Grund.....	37
4.8.5	Fönster och dörrar.....	38
4.8.6	Köldbryggor	39
5	Resultat och analys	41
5.1	Livscykelutvärdering av isoleringsmaterial för väggar.....	41
5.2	Livscykelutvärdering av isoleringsmaterial för vindsbjälklag.....	42
5.3	Livscykelutvärdering takskivor	43
5.4	Livscykelutvärdering av fönsterkarmar och bågar	44
5.5	Isolerings tjocklek	46
5.6	Energianvändning.....	47
5.7	Miljöbyggnad	48
5.7.1	Indikator 1 Värmeeffektbehov.....	48
5.7.2	Indikator 2 Solvärmelast.....	49
5.7.3	Indikator 3 Energianvändning	50
5.7.4	Indikator 9 Termiskt klimat vinter.....	52
5.7.5	Indikator 10 Termiskt klimat sommar	52
5.7.6	Indikator 11 Dagsljus.....	53
6	Diskussion och slutsats.....	57
6.1	Livscykelperspektiv.....	57
6.2	Simuleringar	58
6.3	Uppfyllelser av kriterier enligt Miljöbyggnad.....	59
6.4	Avslutningsvis	60
6.5	Felkällor.....	61
	Referenser.....	63
	Bilagor	73

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Jordens klimatförändringar är ett verkligt hot mot mänskligheten. Om utsläppen av växthusgaser försätter att stiga riskerar vi att nå en genomsnittligt global uppvärmning på över 2 grader. Genom att göra nödvändiga förändringar som att sänka energi-användningen, växla till förnybara energikällor och göra hållbara val kan vi skydda vår planet.

Energianvändningen i byggbranschen står för ca 33% av den totala energianvändningen i Sverige (Boverket, 2021). Den största delen av energianvändningen kommer från uppvärmning av lokaler och byggnader. Utsläpp av växthusgaser för bygg- och fastighetssektorn står för 21 % av Sveriges totala utsläpp (Boverket, 2021). Genom att renovera befintliga byggnader med ett hållbarhetstänk kan energi- och miljöbesparingar göras med mer eller mindre enkla medel.

I EU renoveras endast 11% av befintliga byggnader och endast 1% renoveras för att minska energianvändningen (European commission, 2020). Den Europiska kommissionen har presenterat en renoveringsstrategi för de kommande 10 åren. Den så kallade renoveringsvågen ska bidra till förbättrade sociala, ekonomiska och miljömässiga villkor samt en återhämtning från rådande Covid-19-pandemi genom att bidra till fler jobb i byggsektorn (European commission, 2020).

Nyckelprinciperna i renoveringsvågen ska vara energieffektivisering, livscykel-perspektiv och cirkularitet, prisvärdhet, minskade koldioxidutsläpp och integrering av förnybara energikällor samt högre standard för hälsa och miljö (European commission, 2020). För att uppnå EU:s mål om klimatneutralitet år 2050 är det viktigt att höja andelen hållbara renoveringar.

Detta examensarbete har initierats av Trelleborgs Energi AB i samarbete med Miljöbron. Då Trelleborgs kommun har en strävan efter att bli Sveriges mest klimatsmarta kommun, är detta såklart viktigt för Trelleborgs Energi AB, att hjälpa till att uppnå detta genom att renovera sina kontorslokaler hållbart. Detta ska ske genom energieffektivisering, digitalisering samt närproducerad miljövänlig energi.

Trelleborgs Energi AB vill följa Trelleborg kommuns riktning och utveckla sin fastighet så innovativt och klimatsmart som möjligt för att föregå med gott exempel i kommunen. Dessutom vill de kunna använda byggnaden som en demonstrationsanläggning för att kunna inspirera andra företag och kommuner att följa deras exempel.

I detta arbete om klimatskalet behandlas renovering för energieffektivitet från ett livscykelperspektiv. I samarbetet med Alexandra Da Fonsecas och Diana Krons arbete om installationer behandlas även minskade koldioxid-utsläpp och integrering av förnybara energikällor samt högre standard för hälsa och miljö.

1.2 Syfte och Mål

Syftet är att ur miljömässigt hållbarhetsperspektiv undersöka hur en befintlig byggnad kan förbättras genom renovering av klimatskalet. Detta ska göras med kreativt och innovativt tänkande. Byggnaden som undersöks är Trelleborg Energi AB:s lokaler som ligger på Skyttsgatan 16 Trelleborg.

Målsättningen är att uppnå Miljöbyggnad 3.1, nybyggnad nivå guld för ett antal utvalda indikatorer: 1, 2, 3, 9, 10 och 11. Detta görs genom att undersöka material och komponenter som är miljömässigt hållbara för att energieffektivisera en befintlig byggnad.

Frågor som kommer besvaras i detta examensarbete är:

- Går det att uppnå Miljöbyggnad 3.1, nybyggnad nivå guld för de enskilda indikatorerna 1, 2, 3, 9, 10 och 11 efter renovering?
- Vilka material/komponenter är både miljömässigt hållbara och bidrar till en minskad energianvändning samt är applicerbara i klimatskalet?
- Vad finns det för intressanta material och komponenter som kan appliceras i klimatskalet i framtiden?

1.3 Avgränsningar

Ett fullständigt hållbarhetsperspektiv innebär ekonomisk, social och miljömässig hållbarhet men detta arbete fokuserar endast på det miljömässiga hållbarhetsperspektivet. Vid användning av Miljöbyggnad 3.1 nybyggnad väljs endast de indikatorerna som är relevanta för klimatskalet (och som inte finns med som en avgränsning).

När det kommer till material och komponenter undersöks dessa i så lång utsträckning det går i ett livscykelperspektiv men begränsas av information från varje enskild tillverkare. En avgränsning är att detta arbete inte undersöker renovering av grunden.

Andra avgränsningar är:

- Kontroll av byggnadens hållfasthet efter förslag av ändring i klimatskal kommer inte undersökas
- Kontroll av byggnadens fuktsäkerhet efter förslag av ändring i klimatskal kommer inte undersökas.
- Att krav på ändringar vid renovering enligt Plan och bygglagen och Byggnadsnämnden kommer inte undersökas.

När det kommer till energianvändning och hur solceller som installationsgruppen undersökt minskar energianvändningen gick det inte tidsmässigt att skriva ett gemensamt resultat. Resultatet finns redovisat i Alexandra Da Fonseca och Diana Krons arbete.

2 Teori och litteraturstudie

I litteraturstudien presenteras olika material och byggelement som finns i klimatskalet. Utvärderingar av materialen och komponenter redovisas i Resultat och analys.

2.1 Viktiga begrepp

U-värde

Värmegenomgångskoefficienten, eller U-värde har enheten W/m^2K och anger hur bra en viss byggnadsdel isolerar. För fönsterglas används beteckningen U_g istället för U men innebär samma sak. Ju lägre U-värde desto bättre värmeisolering (Arfvidsson, et al., 2017). U-värdet är för en viss byggnadsdel men för att kunna jämföra specifika material kommer även värmekonduktivitet användas. Värmekonduktivitet betecknas λ och kallas också λ -värde. Ett lågt λ -värde innebär en bättre värmeisoleringsförmåga för materialet (Burström & Nilvér, 2018).

Livscykelanalys

Arbetet behandlar endast den miljömässiga hållbarheten när det kommer till livscykelanalys. Livscykelanalys, LCA är en metod för att analysera miljöpåverkan av en produkt från det att naturresurser utvinns för att skapa produkten till det att produkten inte längre går att använda och behöver återvinnas eller deponeras. LCA handlar om att ta fram en helhetsbedömning av miljöpåverkan där kategorier som, klimatpåverkan, försurning, marknära ozon m.fl. kan väjas att undersökas beroende på produktens påverkan (Boverket, 2019a). Livscykelanalyser gör att det går att jämföra olika produkters påverkan på miljön och välja de alternativen som kommer göra att hela byggnadens miljöpåverkan sänks. En LCA kan påverka materialvalet så att det inte alltid är de material eller byggkomponenter med lägst U-värde eller λ -värde som är mest fördelaktigt då ett annat material eller byggkomponent kan vara mer hållbart i längden.

Miljövarudeklaration

Miljövarudeklaration eller environmental product declaration, EPD på engelska är en beskrivning av en byggprodukts miljöpåverkan. En EPD följer bland annat ISO 14025 och i Europa följs även EN 15804. För en godkänd EPD krävs en tredjepartsgranskning och att produkten är baserad på rätt PCR (Boverket, 2019b). PCR är produktkategoriregler för en specifik kategori som innehåller krav, regler och riktlinjer för att utveckla en giltig miljövarudeklaration för en specifik kategori, så som för isoleringsmaterial (EPD International AB, 2021).

Det finns olika EPD system så det är viktigt att kontrollera att de följer rätt standarder och har samma utgångspunkt så de går att jämföra med varandra. EDP International AB ägs av IVL svenska miljöinstitutet och är ett globalt program för framtagande av miljövarudeklarationer (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2020). På EDP International AB:s hemsida finns några olika företag listade med jämförbara EPD:er och vad som skiljer EPD:erna åt. Till exempel ställer en EPD från Norwegian EPD Foundation att mer information finns med än vad EDP International AB krav men de är fortfarande jämförbara (EPD International AB, 2021).

Miljövarudeklarationerna är uppbyggda med olika kategorier och underkategorier, produktionsfasen med underkategorierna A1-A3, installationsfasen A4-A5, användarfasen B1-B7, slutfasen C1-C4 och avfallsfasen D. Ett problem med miljövarudeklarationerna är att tillverkare kan välja vilka kategorier som redovisas i dokumentationen, produktionsfasen är alltid med men sen skiljer det sig från tillverkare till tillverkare vilket leder till att det är svårare att jämföra.

När en EPD studeras går det att se produktens klimatpåverkan, resursanvändning och avfall. I klimatpåverkans kategorin går det bland annat att läsa ut GWP-värdet som är produktens globala uppvärmnings potential, enheten är kg CO₂-ekvivalenter/m². Vid jämförelser av material i detta arbete läggs mest fokus på klimatpåverkan och GWP-värdena. Vad för värden som finns med i varje kategori presenteras nedan.

Klimatpåverkan:

- ODP- Potential till nedbrytning av stratosfäriskt ozon [kg CFC11-ekv]
- AP- Förurningspotential på land och i vatten [kg SO₂ -ekv]
- EP- Övergödningspotential [kg PO₄³⁻-ekv]
- POCP- Potential till fotokemisk oxidantbildning [kg C₂H₄ -ekv]
- ADPM- Abiotisk utarmningspotential* av icke-fossila resurser [kg sb-ekv]
- ADPE- Abiotisk utarmningspotential* av fossila resurser [MJ]

*Abiotisk utarmning betyder en förbrukning av ämnen som inte, i praktiken, nyskapas. Exempel på sådana ämnen är bränslen (fossil) eller metaller (icke-fossil). Bränslen förbrukas och kan ej användas igen samt metaller kan spridas i små koncentrationer att det inte är praktiskt möjligt att återanvända materialet (Sveriges lantbruksuniversitet, 2016).

Resursanvändning:

- TPE-Total användning av förnybar primärenergi [MJ]
- TRPE- Total användning av icke förnybar primärenergi [MJ]
- SM- Användning av sekundärt material [kg]
- RSF- Användning av förnybara sekundära bränslen [MJ]
- NRSF-Användning av icke förnybara sekundära bränslen [MJ]
- W-Användning av färskvatten [m³]

Avfall:

- HW-Bortskaffning av farligt avfall [kg]
- NHW-Bortskaffning av icke farligt avfall [kg]
- RW- Bortskaffning av radioaktivt avfall [kg]

En byggnads livslängd är något som tillverkare brukar använda för att beskriva hur länge produkten håller men det finns inget som säger hur många år det är. Många tillverkare pratar om att en byggnads livslängd är ca 50–60 år men det finns inget som bestämt säger att detta. Exempel på där tillverkare säger att en byggnads livslängd är 50 år finns i Aspen aerogels INC (2013). Även Svenska miljöinstitutet (2015) har studerat vad för livslängd som borde jämföras i LCA analyser, i den rapporten nämns det att en vanlig

referenslivstid är 50 år, därför antogs det i detta examensarbete att när det står en byggnads livslängd förväntas produkten hålla i 50 år.

g-värde

Detta värde anges i procent och är den totala genomträngande solenergitransmittansen genom glas eller solskydd. Alltså hur mycket solvärme som kommer in i byggnaden från solinstrålning. (Svenska fönster, 2020)

LT-värde

Ljustransmittans anges i procent och är andelen ljustransmission genom glaset. Det handlar om hur mycket av dagsljuset som kommer in i byggnaden, ett värde på ca 60 % är bra. (Svenska fönster, 2020)

2.2 Renovering

Enligt statistik från Energimyndigheten och Boverket har de flesta byggnader som är äldre än 30 år ett renoveringsbehov i Sverige (Offentliga fastigheter, 2019). Det beror på att äldre byggnader är dåligt isolerade samt har dåliga ventilationssystem. Energiförlusterna i äldre byggnader är stora när det gäller el och värme. Även inomhuskomforten är låg och det behövs i många fall både förbättring av klimatskal samt tekniska installationer för att uppnå dagens krav (Offentliga fastigheter, 2019).

Att renovera en byggnad är bättre ur klimatsynpunkt än att riva den och bygga nytt. Det visar en klimatkalkyl från ett projekt av Skanska i Alingsås. Där visar klimatkalkylen att en renovering genererar 70% mindre koldioxidkvalenter än om man rivit och byggt nytt (Skanska, 2016). En renovering beror först och främst på byggnadens befintliga skick. Varje byggnad är unik och är därför svår att generalisera. Men enligt Offentliga Fastigheter ger mer omfattande renoveringsinsatser en större minskning av energi-användning, effektbehov och energikostnad än enskilda insatser. Vanliga åtgärder för att minska energianvändningen presenteras i listan nedan (Offentliga fastigheter, 2019).

- Tilläggsisolering fasad
- Tilläggsisolering bjälklag/vind
- Byte eller renovering av fönster
- Åtgärda otätheter i byggnadens klimatskal
- Översyn av klimatskal med hjälp av termografering
- Solavskärmning som förebygger behov av komfortkyla
- Undersök möjlighet att installera solenergi
- Behovsanpassa drift
- Värmeåtervinning i ventilation
- Belysningsautomatik
- Energieffektiva ljuskällor
- Eleffektiva fläktar och pumpar
- Energieffektiv kylproduktion
- Frikyla
- Värmeåtervinning från kylmaskiner

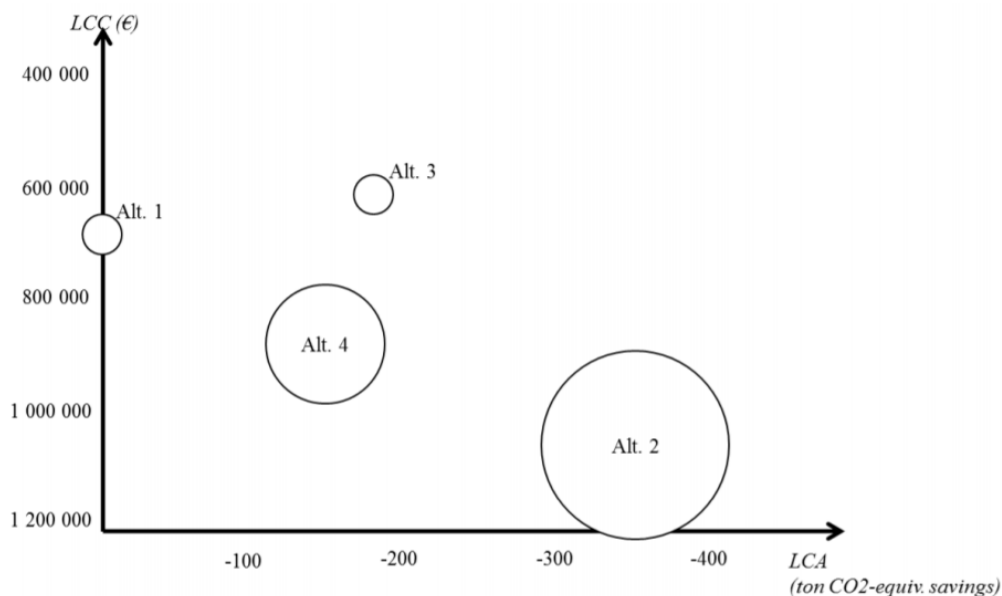
- Driftoptimering
- Datoriserat styr- och övervakningssystem

(Offentliga fastigheter, 2019)

Att göra en genomtänkt renovering med energieffektiva åtgärder för äldre byggnader har visat sig vara mer kostnadseffektivt än att inte renovera alls. Det beror på att höga energikostnader och stigande underhålls- och servicekostnader för akuta problem kan vara mer kostsamt i längden (Offentliga fastigheter, 2019).

Figur 2.1 visar klimatavtrycket för fyra olika renoveringar. På x-axeln finns LCA vilket är besparingarna av koldioxidkvivalenter (Malmgren, et al., 2015). Detta i förhållande till y-axeln som redovisar LCC vilket beskriver investeringens storlek i relation till värdet av de framtida intäkter och kostnader som renoveringen genererar. De fyra olika renoveringsalternativen i Figur 2.1 är:

1. Ingen renovering.
 - Drift- och underhållskostnader belastar alternativet.
2. Tilläggsisolering och byte av ventilationssystem.
 - 500 mm tilläggsisolering av tak, 200 mm tilläggsisolering av ytterväggar.
 - Utvändig EPS-isolering av grunden.
 - Nya fönster med bättre U-värde (0.9 W/m²K).
 - Byte till FTX-system.
3. Byte av ventilationssystem.
 - Byte till FTX-system.
4. Tilläggsisolering.
 - Nya fönster med bättre U-värde (0.9 W/m²K).
 - 500 mm tilläggsisolering av tak.
 - 200 mm tilläggsisolering av ytterväggar.



Figur 2.1 Figuren visar olika alternativ ur ett LCA och LCC perspektiv (Malmgren, et al., 2015).

Alternativ 1: Ingen renovering, är alltså kostsamt även fast inga åtgärder genomförts. Att inte renovera kan enligt Figur 2.1 även vara mer kostsamt än att byta ventilationssystem.

Alternativ 2: Tilläggsisolering och byte av ventilationssystem, kan ses som den bästa metoden då det ger störst klimatbesparingar. Detta är dock den dyraste lösningen.

Alternativ 3: Byte av ventilationssystem, kan ses som den mest effektiva och mest lönsamma lösningen. Detta stärks av Offentliga fastigheter (2019) som skriver att byte av ventilationssystem kräver förhållandevis en liten arbetsinsats, men ger en stor minskning av energianvändningen och ett bra inomhusklimat till en mindre kostnad. De nämner även att det kan vara möjligt att minska byggnadens totala energibehov med 20–25 % vid byte av ventilationssystem

Alternativ 4: Tilläggsisolering, förhållandevis är detta alternativ dyrare och ändå inte lika bra som alternativ 3. Dock kan detta alternativ vara värt att göra vid redan planerade renoveringar av klimatskalet.

2.2.1 Renovering av en byggnad

Vid renovering kan det komma att ställas vissa krav beroende på omfattningen av renoveringen. Boverkets byggregler, BBR benämner de olika omfattningarna med ändring och ombyggnad. Vid ändring ställs det normalt sätt enbart krav på den ändrade delen. Vid ombyggnad ska antingen hela byggnaden eller en betydande och avgränsbar del av byggnaden ändras påtagligt. Vid ombyggnad ställs det även krav på hela

byggnaden. Dock kan dessa krav anpassas utifrån byggnaden förutsättningar, ändringens omfattning, varsamhetskrav och förvanskningförbud (Boverket, 2018). Krav som kan ställas vid ombyggnad är att uppdatera till dagens standard till exempel gällande tillgänglighetsanpassning och brandsäkerhet.

Boverkets byggregler, BBR ställer även krav på vad som ska uppnås vid en omfattande renovering av en byggnad. Ett mål är att få ett lägre primärenergital än $70 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år för lokaler (Boverket, 2020). När inte primärenergitalet anger BBR U-medelvärde för varje byggdel som ska eftersträvas Figur 2.2 visar U-värdena som borde uppnås för varje enskild byggdel.

U_i	[W/m ² K]
U_{tak}	0,13
$U_{\text{vägg}}$	0,18
U_{golv}	0,15
$U_{\text{fönster}}$	1,2
$U_{\text{ytterdörr}}$	1,2

(BFS 2011:26).

Figur 2.2 Rekommenderat U-värde för varje byggdel. Tabell 9:92 från BBR

2.2.2 Tilläggsisolering av ventilerade tak

Tilläggsisolering på ventilerade tak utförs normalt med lösull men även mattor eller skivor förekommer (Arfvidsson, et al., 2017). Att tilläggsisolera en vind är relativt lätt och vanligen en lönsam inventering. Vid en tilläggsisolering av vindsbjälklag måste dock vissa aspekter beaktas. En vind med mer isolering kommer bli kallare både sommartid (natten) och vintertid än tidigare och därav ökar risken för kondens eller att den relativa fuktigheten blir för hög. Alltså kan ett vindsutrymme som tidigare fungerat bra, få fuktproblem efter tilläggsisolering. För att förhindra detta bör man kontrollera bjälklagets lufttäthet, speciellt vid genomföringar och slutningar. Man bör också kontrollera otätheter vid genomföringar för ventilationsrör eller elrör samt anslutning till murstock. Kontrollera att ventilationsöppningar inte täpps till av isoleringen. Vid samband av andra åtgärder som vidtagits samtidigt måste konsekvenser övervägas. Till exempel ändring av uppvärmningssystem eller lufttätning kan få konsekvenser för vinden (Arfvidsson, et al., 2017).

2.2.3 Tilläggsisolering av parallelltak

Det finns tre möjligheter att tilläggsisolera ett parallelltak. Utvändigt tilläggsisolering, invändigt tilläggsisolering och insprutning av värmeisoleringsmaterial i befintlig luftspalt (Arfvidsson, et al., 2017).

Vid utvändigt tilläggsisolering måste all ventilation stoppas för att det ska få någon effekt. Taket får inte vara skadat och ingen fukt får stängas inne innan alla ventilationsöppningar noggrant sätts igen. Taket har nu omvandlats till ett varmt tak och detta tillför att vissa förhållanden bör beaktas. Då det är okänt om taket fungerar utan ventilation bör

en tillräckligt tjock tilläggsisolering väljas så att kondensation och hög relativ fuktighet inte uppstår på det ursprungliga tätskiktet. Med denna metod av tilläggsisolering kan även skador som orsakas av kondens på taket försvinna. Detta för att temperaturen där skadorna uppstår höjs vilket gör att kondens inte längre kan uppstå. Det oavbrutna isoleringsskiktet på utsidan gör att köldbryggor också minskas vilket är bra ur energisynpunkt. Utvändig tilläggsisolering är en bra metod att använda sig av. (Arfvidsson, et al., 2017).

Invändig tilläggsisolering, om rumshöjden medger, görs vanligen med mineralull mellan reglar och en skivbeklädnad. En ångspärr bör sättas in på insidan om den nya isoleringen för att eventuellt inte få kondens mot den befintliga ångspärren. Det finns alltid en risk för skador på den befintliga konstruktionen med invändig tilläggsisolering (Arfvidsson, et al., 2017).

Insprutning av värmeisoleringsmaterial i befintlig luftspalt kan göras med inblåsning av lösull av mineralull eller cellulosafiber eller cellplastkuler. En eftersträvning är att behålla en luftspalt närmst yttertaket och ventiler denna. Detta är dock mycket svårt att garantera en genomgående ventilationsspalt då det är svårt att kontrollera materialet som sprutas in. Ventilationen får inte heller bli för stor då detta kan medföra att materialet kan flytta på sig och täppa igen spalten. I praktiken har denna lösning visat sig gå bra men vid stora flacka tak bör denna metod undvikas (Arfvidsson, et al., 2017).

2.2.4 Tilläggsisolering av massiva tak

Massiva tak kan tilläggsisoleras utvändigt och invändigt. Invändiga tilläggsisoleringar för enbart förbättring av energiläckaget är ovanligt. Däremot kan ljudabsorberande beklädnad agera som en tilläggsisolering. Vid invändig tilläggsisolering finns alltid risk för kondens som kan leda till fuktskador (Arfvidsson, et al., 2017).

Utvändig tilläggsisolering är mer att föredra. Med denna metod kan fuktproblem även försvinna då tjockare isolering bidrar till en temperaturhöjning som gör att kondens har svårare att uppstå. Det oavbrutna isoleringsskiktet gör också att köldbryggor minimeras vilket kan bidra till mindre energiförbrukning. Den utvändiga tilläggsisoleringen kan utföras på följande sätt. Med värmeisolering som fästs mekaniskt i befintligt tak och får ett nytt tätskikt. Vid denna metod måste brunnar, sargar och anslutningar anpassas till den nya höjden. Andra utförandet är som ett omvänt tak. Detta förutsätter att det befintliga tätskiktet är i bra skick och kan återanvändas. Ovanpå det gamla tätskiktet kan då värmeisolering läggas på och resten av konstruktionen utförs enligt anvisningar för ett omvänt tak (Arfvidsson, et al., 2017).

2.2.5 Renovering av väggar

Vid renovering av väggar är det viktigt att ta hänsyn till den befintliga väggen och kontrollera att den klarar av vald metod. Vindskydd och fuktskydd är också viktigt att kontrollera att det utförs på rätt sätt beroende på vägg och material.

Det finns tre alternativ när det kommer till att förbättra ytterväggar och det tilläggsisoleringsalternativet, i mitten av väggen eller utvändigt.

Invändig tilläggsisolering påverkar inte byggnadens utseende vilket kan vara fördelaktigt vid historiska byggnader. Dock minskar den invändiga arean och golvytan blir mindre. Det största problemet med tilläggsisolering på insidan är att den befintliga väggen blir kallare och därmed får högre relativ fuktighet vilket gör att fukthalten ökar. Det behöver inte orsaka några problem men risken för fuktskador och frostsador ökar. Även fönsterna blir kallare och det kan leda till kondens på glaset. (Arfvidsson, et al., 2017).

Tilläggsisolering inuti vägg fungerar endast i fåtal konstruktioner till exempel hålmurar alltså väggar med försedda hålrum. Dessa hålrum kan fyllas med isolering men problemet kan vara att fylla och kontrollera att hela hålrummet har isolerats. Risken för fuktskador är låg (Arfvidsson, et al., 2017).

Tilläggsisolering på utsidan förändrar byggnadens utseende då en extra isolering läggs till på den befintliga ytterväggen. En ny fasad får uppföras på den nya isoleringen. Eftersom utseendet förändras krävs bygglov för att göra detta. Genom att tilläggsisolering på utsidan förbättras fuktförhållandena i väggen då väggen blir varmare och fukthalten lägre. Inga fuktproblem borde uppstå i väggen. För att minska befintliga köldbryggor som kommer från till exempel bjälklag är utvändigt isolering det bästa alternativet. En annan fördel med tilläggsisolering på utsidan är att ingen boyta förloras på insidan vilket gör att det finns möjlighet att isolera i tjockare lager än vid invändig isolering. Problem med utvändigt isolering är att det kan ha sekundära effekter på bygganden så som att takfot och fönster kan behövas förflyttas beroende på tjockleken av tilläggsisoleringen (Arfvidsson, et al., 2017).

2.2.6 Renovering av fönster

Det kan vara mycket viktigt att bevara och renovera olika byggdelar ur klimatsynpunkt i byggbranschen. Men när det gäller renovering av fönster så är det inte bättre enligt IVL Svenska Miljöinstitutet och Sveriges Allmännyttan om fönstret uppnått sin tekniska livslängd (Nordstrand & Jarnehammar, 2020). Vinsterna i form av minskat utsläpp vid uppvärmning som ges av att byta ut hela fönstret väger upp klimatpåverkan som uppstår vid tillverkning. Alltså är det ur klimat- och energisynpunkt bättre att byta ut ett helt fönster när fönstret uppnått sin tekniska livslängd (Nordstrand & Jarnehammar, 2020). De gånger det kan vara lönsamt att renovera fönster är ur ekonomisk synpunkt eller för att bevara kulturhistoriska värden på fönstret.

2.2.7 Tätning vid renovering

Tätning är till för att förhindra ofrivilligt läckage som bidrar till stora energiförluster. Det är vanligt att äldre byggnader inte uppnår dagens standarder och krav men det kan förbättras med tätning kring fönster, dörrar och andra hål i konstruktionen (Bokalders & Block, 2014). När man tätar en byggnad för att minska energiförlusterna är det viktigt att kontrollera att ventilationssystemet är anpassat till den nya konstruktionen.

2.3 Isoleringsmaterial

Detta kapitel behandlar olika sorters isoleringsmaterial som är lämpliga i väggar och tak. Förutom att det är viktigt med hållbara isoleringsmaterial är det även viktigt att isoleringen monteras och används på rätt sätt annars kan stora värmeförluster ske. Litteraturstudien introducerar material tillgängliga för svenska marknaden och i slutet av kapitlet presenteras framtida material. Det finns många material att välja på och därav har vissa material uteslutits. Cellplaster och PUR/PIR isolering är tillgängliga material men Geijersson och Karlsson (2018) kommer till slutsatsen att stenull är det bättre alternativet för ytterväggar därför undersöks inte dessa material. Det finns även fler biobaserade material men de liknar materialen som finns med och har sämre λ -värde och jämförs därför inte.

2.3.1 Traditionella isoleringsmaterial

Mineralull

Detta material är ett gemensamt namn för glasull och stenull som är vanliga isoleringsmaterial som används idag.

Stenull tillverkas av olika sorters stenar som smälts vid temperaturer på 1500 till 1600 °C. Den smälta stenen rinner över ett spinnhjul som slungar ut fiber. För att binda ihop materialet blandas stenullsfibrerna med koks som är en produkt från stenkol.

Glasull tillverkas genom att smälta återvunnet glas och sand vid en temperatur på cirka 1400°C som sedan hålls över ett spinnhjul som slungar ut fiber. 2017 var 70% av glasullen tillverkad av återvunnet glas (Burström & Nilvér, 2018).

För att göra mineralullen användbar tillsätts även fenolharts och mineralolja men detta varierar beroende på tillverkare (Burström & Nilvér, 2018). Eftersom hållbara löningar blir allt viktigare anpassas även bindningsmedlen i produkterna och det finns på marknaden mineralullsisoleringar med bindningsmedel som kommer från förnyelsebara råvaror (Saint-Gobain Sweden AB, 2021).

Fördelar med mineralull är att den kan produceras i många olika former, som lösull, mattor eller skivor beroende på var produkten ska användas. Mineralull finns även i hårdare skivor som kan användas på tak. Mineralull kan skäras och anpassas till konstruktionen. Isoleringsmaterialet har även goda ljudisoleringsegenskaper. Stenull kan även användas som brandisolering för stålkonstruktioner då den klarar temperaturer upp till 800 °C (Burström & Nilvér, 2018).

Nackdelar med mineralull är att det krävs höga temperaturer vid tillverkning. Vid lagring utomhus måste den skyddas mot fukt, annars kan den bidra till för mycket byggfukt och orsaka skador på byggnaden. För montering på väggar krävs regler som mineralullen kan monteras emellan. Reglarna leder till ett sämre värde då trä har ett λ -värde som ligger på 0,14 W/mK jämfört med mineralullens värde som ligger mellan 0,033–0,040 W/mK

(Sandin, 2010). Konstruktion med mineralull kräver också en ångspärr på den värma insidan och vindskydd på utsidan.

2.3.2 Superisoleringsmaterial

Superisoleringsmaterial har 2 till 5 gånger lägre värmeledningsförmågas jämfört med vanliga isoleringsmaterial. Det gör att byggnadens värmeförluster kan minskas med 50-80% om de superisolerande materialens dimension är i samma storleksordning som vanliga isolermaterial (Adl-Zarrabi & Johansson, 2017). Minskad tjocklek gör att mer area bevaras och kulturvärden kan förbättras energimässigt utan större påverkan på arkitekturen (Adl-Zarrabi & Johansson, 2017).

Vakuumisolering

Vakuumisolering eller även kallat vakuumisoleringspaneler (VIP) på grund av att produkten levereras i form av paneler, dessa visas i Figur 2.3 längre ner. Panelerna är uppbyggda av ett finporöst material som är omslutet av ett lufttätt hölje ofta bestående av metallfolie eller plast. Innan det lufttäta omslaget försluts töms det finporösa materialet på luft och skapar ett vakuum (Skanska Sverige AB, 2010). Denna process ger ett λ -värde mellan 0,003–0,007 W/mK (Burström & Nilvér, 2018).

Fördelar med vakuumisolering är det låga λ -värdet som bidrar till en mycket tunn produkt. En tunnare produkt har fördelarna att den kan användas i trånga utrymmen och isolera invändigt utan att förlora en stor del av golv area. Tilläggsisolering på utsidan med en tunn isolering gör att utseendet inte behöver förändras avsevärt mycket.

Nackdelar med vakuumisolering är att panelerna lätt punkteras vid transport och montering vilket gör att panelerna behövs bytas ut. Punkteras panelerna i den färdiga konstruktionen försämras λ -värdet avsevärt till runt 0,20 W/mK och panelen sväller i storlek (Burström & Nilvér, 2018). Konstruktionen bör vara utformad så det är lätt att byta ut plattorna om de skulle punkteras eller skadas efter färdigställande av vägg. Livslängden på plattorna varierar, i Skanskas rapport (2010) skrivs det om en livslängd på 30–50 år medan tillverkaren Kingspan (2020) hävdar att deras vakuumisolering håller byggnadens livstid alltså 50 år. Vakuumisoleringsplattor kan inte anpassas till byggnaden utan är den storlek som de levereras i som gäller vilket kräver planering av plattornas storlek vid beställning.



Figur 2.3 visar VIP panel från Kingspan (2020).

Aerogel

Detta material är ett av de lättaste materialen i världen, det har en porositet upp till 95 % och en densitet på $2,5 \text{ kg/m}^3$ (Burström & Nilvér, 2018). Det tillverkas av silikatmaterial, kol, plastpolymerer, eller metalloxider med sol-gel-metoden. Metoden beskrivs i kort som att material blandas och binds ihop och skapar en gel där sedan all vätska avlägsnas med hjälp av superkritisk torkning. Det som finns kvar efter processerna är den finporösa aerogelen (Skanska Sverige AB, 2010). För att aerogelen ska fungera som isoleringsmaterial i byggbranschen omsluts den av fiberlaminat så som glasfiber och produkten kan se ut som en grå filt, det syns i Figur 2.4. Det är vanligt att filtarna av aerogel levereras som sammansatta paneler med flera filter i ett lager då tjockleken på varje enskild filt är mellan 5–10 mm (Aspen aerogels INC, 2013).

I framtiden tros aerogelen fungera som gasfiltrering av växthusgaser där materialet filtrerar växthusgaser och blir sedan mättat. När aerogelen inte kan ta upp mer skadliga ämnen kan den användas som byggnadsmaterial utan att det ska påverka prestandan på isoleringen (Skanska Sverige AB, 2010). Lagring av växthusgaser är inte en lösning på klimatförändringarna men ett sätt att minska befintliga gaser i atmosfären.

Idag är produktionen av aerogel inte kostnadseffektiv och har en energikrävande tillverkning men EU sponsrar olika projekt för att ta fram nya hållbara produkter av aerogel. Ett projekt är Gelclad som vill utveckla en ekologisk helhetsprodukt där isolering av aerogel, fasadens ventilation och väderskydd är sammansatt i en enda panel som ska vara lätt att installerat på befintliga byggnader. Projektet avslutades 2019 men ännu har ingen produkt nått marknaden (Gelclad.eu, 2020).

Svenska Aerogel Holding AB, också sponsrat av EU har tagit fram ”Quartzene- Next generation aerogel.”. Quartzene ska vara ett kostnadseffektivt och miljövänligare aerogelmaterial (Svenska Aerogel, 2020). Svenska Aerogel har i dagsläget tagit fram en värmeisolerande färg av Quartzene aerogelen som enkelt ska gå att applicera i tjocka ytlager och ge en mycket god värmeisolerande förmåga. Denna produkt är under utvärdering och testas i Asien i kommersiellt syfte. Företaget jobbar även med att ta fram andra produkter av aerogel bland annat värmeisolerande paneler (Svenska Aerogel, 2020).

Fördelar med den aerogelen som finns på marknaden idag är att materialet har ett λ -värdet på $0,013\text{--}0,015 \text{ W/mK}$. Den grå filten av aerogel är lätt att böja och kan anpassas till utmanande arkitektur samt är tunn så den tar inte upp någon större yta. Produkten är även anpassad att fungera på många olika platser i en byggnad. Bland annat kan aerogelen fungera på väggar invändigt och utvändigt, tak samt för tätning runt fönster och dörrar. Filtarna av aerogelen har även en bra ljudisolerande förmåga. (Paroc, 2013) Montering av aerogelen ska vara enkelt då det går att häfta fast eller skruva fast produkten i befintliga väggen. Dock är det viktigt att ytan är torr och ren från biologiskt material. På vissa produkter av aerogel går det att applicera ytskikt i form av kalk, gips och lera direkt på produkten med hjälp av ett förstärkande nät (Paroc, 2013).

En nackdel med aerogelen är att rullar av aerogelfiltarna som är omslutna av plast vid leverans bör hållas slutna och endast öppnas då de används. Rullarna bör även förvaras

i ett torrt klimat och inte utsätts för väder och vind. Restbitar bör förslutas i påsar eller användas i byggnaden. En annan nackdel är hantering av materialet, då aerogelfiltar kan generera damm bör skyddsutrustning användas för att skydda ansikte och kropp från att komma i kontakt med dammet.



Figur 2.4 Visar aerogelfiltens spaceloft från Parco (2013).

Referensfall för superisolerandematerial

Aerogel och vacuumisolering är inte vanliga material ute på marknaden och därför har referensfall tagits fram för att ta reda på om det är möjligt att tilläggsisolera väggar med dessa material.

I Schweiz har aerogel använts sedan 2008 och har referensbyggnader som visar ett bra resultat när det kommer till olika typer av aerogel. För aerogelfiltar så som produkten Spaceloft finns två referensobjekt. Ett gammalt kvarnhus från ca 1873 i Zürich fick spaceloft filtarna i väggarna och vanlig mineralull i taket vilket ledde till att U-värdet sjönk (Ganobjak, et al., 2020). Även Duncairn Centre for Culture and Arts i Belfast renoverade med spaceloft vilket innebar en minskning av U-värdet (Ganobjak, et al., 2020).

Aerogel och VIP är fortfarande nya på marknaden och mer studier krävs men Eriksson, Johansson och Wahlgren (2019) skriver i sin rapport som handlar om en fallstudie där båda materialen visar på förbättrade U-värden på ca 80-84 %. Beräknad förbättring skulle ligga på 69% för aerogelfiltarna och 80% för vakuumisolerpanelerna. Ett bättre resultat uppmättes vid mätning än vad som kunde förväntas av beräkningar. Fallstudien genomfördes i Göteborg alltså i svenskt klimat på en historisk tegelbyggnad.

2.3.3 Biobaserade material

Cellulosafiber

Från pappersmassa och returpapper kan cellulosafiber skapas i form av lösull, skivor drevremсор och sprutisolering. Energisnål tillverkning kan ske med returpapper men beroende på hur mycket ny pappersmassa som används ökar energibehovet. λ -värdet ligger runt 0,038–0,043 W/mK (Bokalders & Block, 2014).

Fördelar är att cellulosafiber kan sprutas in i konstruktionen vilket gör det lufttätt och minskar konvektion i skiktet men det krävs att det är utfört på rätt sätt. Sker monteringen fel med sprutisoleringen kan det bli oönskade luftrörelser (Burström & Nilvér, 2018). Cellulosaisoleringen har även goda ljudisolerande egenskaper.

Nackdelar är att cellulosa fibrerna är brandfarliga och behöver behandlas med brandskydd i form av borsalt som även skyddar mot svamp och insektsangrepp (Bokalders & Block, 2014).

Träfiberisolering

Träfiberisolering är liknande cellulosa fiber men tillverkas av trä, framför allt gran och tall. Tillverkning sker genom defibrering vilket innebär att träflis mals och späds ut med vatten. Under tryck och värme pressas sedan fibrerna ihop. Tillsammans med träets eget lignin som fungera som bildningsmedel kan träfiberskivor skapas.

Skivisoleringen kan ha olika nivåer av porositet men det är skivorna som är mer porösa som används till värmeisolering. Porösa träfiberskivor är styva och har ett λ -värdet runt 0,038–0,045 W/mK (Burström & Nilvér, 2018). Det finns även Porösa träfiber mattor som är mjuka som går att forma runt utmanande arkitektur men är inte så bra i väggar då de kan vika ihop sig och lägga sig i botten på konstruktionen. De porösa mattorna har ett λ -värde runt 0,037–0,039 W/mK (Bokalders & Block, 2014).

Fördelar med träfiber är att det kommer från förnybara råvaror. Som med alla material finns det olika tillverkar vilket innebär att det måste kontrolleras vad för krav som finns på framtagandet av produkten för varje enskild tillverkare. Det finns de tillverkare som endast tillverkar träfiber från hållbart skogsbruk med återplanteringsprogram vilket gör att miljöpåverkan inte blir lika stor. Träfiberskivorna är lite styvare än den klassiska mineralullen men monteras på samma vis, vilket gör att det är lätt att installera även för montörer som inte tidigare använt träfiber (Hunton Fiber AS, 2016).

En nackdel kan vara att beroende på tillverkare och typ av produkt behandlas träfiber med tillsatsmedel. Om ett miljövänligt alternativ önskas behövs det undersöka vilka tillsatsmedel som använts. Vanligt är att tillsätta aluminiumsulfat för att öka skydd mot mögel och öka brandhårdheten (Bokalders & Block, 2014). Träfiber är känsligt för fukt, det är därför viktigt att förvara materialet tørt och väderskyddet innan montering (Hunton Fiber AS, 2016). En annan nackdel är att träfiber har ett λ -värde runt 0,038 W/mK och installation kräver ett träregelverk som försämrar det sammansatta skiktets värde ytterligare.

Även ett referensfall för ett biobaserat material har tagits fram då det inte är lika vanligt på marknaden som de traditionella materialen. Tillverkaren Huntons hemsida som tillverkar träfiberisolering finns det referenser från kunder som ska vara väldigt nöjda med materialet. De skriver att träfiber materialet är styvt och mycket tåligt vilket gör monteringen enklare i nordiskt klimat (Hunton, 2019a). Referensbild visas i Figur 2.5.



Figur 2.5 Bilden visar ett hus som har träfiber som isolering mellan träreglar (Hunton, 2019b)

Linfiberisolering

Linfiberisolering kommer som namnet säger från lin. Linfibrerna är korta fiber från linets stjälk som har genomgått en process där stjälken torkas och fibrerna frigörs. Linfibrerna är naturligt motståndskraftiga mot röta, mögel och skadedjur. Vid tillverkning brukar lite brandskyddsmedel blandas i men linet har även ett visst skydd mot brand då det är naturligt svårantändligt. För att göra skivorna av linfiberisolering styvare blandas även polyester in i skivorna, hur mycket beror på tillverkare. λ -värdet ligger på ca 0,040–0,042 W/mK vilket ungefär är samma som för cellulosafiber och träfiber (Bokalders & Block, 2014).

Fördelar med lin är att det inte krävs konstgödsel eller bekämpningsmedel vid odling vilket är bra för miljön där odlingen sker. Beroende på tillverkare så kan linfiberisolering hanteras utan någon skyddsutrustning då det inte utgör en potentiell hälsorisk.

Nackdel är att ett tjockare lager isolering krävs på grund av det högre λ -värdet. Installation kräver ett träregelverk som försämrar λ -värdet. Linfiber är inte ett vanligt material och tillgänglig dokumentation som till exempel miljövarudeklarationer är begränsat.

Hampaisolering

Detta isoleringsmaterial finns i olika former, det kan komma som skivisolering, lösull och hampakalk. Det är hampans fibrer som används till lösull och skivisolering som påminner om mineralull, medan hampans kärna påminner om träflisor och blandas med kalk för att göra hampakalk även kallat hampacement. Fiberisoleringen har ett λ -värde på ca 0,04–0,045 W/mK och hampakalken ligger runt 0,07–0,12 W/mK (Bokalders & Block, 2014). Hampakalkens värde beror på vilket förhållande mellan hampa och kalk

som används i mixen. Även relativa fuktigheten påverkar materialet och hampakalken behövs undersökas närmre för att få fram ett mer noggrant λ -värde.

Fördelar med hampan är att den går att odla utan gödning och besprutning. Hampan är även beständig mot svamp- och bakterieangrepp vilket gör att hampan inte kräver impregnering vilket tillsammans med en ekologisk odling gör att den är fri från gifter och skivisoleringen och lösullen kan hanteras utan skyddsutrustning. Dock är det viktigt att kontrollera hampan som används då den kan blandas med flamskyddsmedel för brandsäkerhet och polyester eller majs för att behålla formen. Hampafiberisoleringen har även goda ljudisolerande egenskaper (Bokalders & Block, 2014).

En nackdel är att λ -värdet är högre än för mineralull, vilket gör att det krävs tjockare lager av hampan för att få samma effekt vilket inte alltid är möjligt. En annan nackdel är att hampodlingen i Sverige är låg så transportererna kan bli längre beroende på tillgång. Anledningen till den låga odlingen är på grund av hampans narkotika klassade ämnen vilket gjorde att hampodling förbjöds mellan 1965–2003. Idag får så kallad industrihampa odlas som innehåller högst 0,20% THC (Jordbruksverket, 2021). Det finns möjligheter att importera hampa från andra europeiska länder så som Frankrike där odling av hampa är i större skala (De Buriijn, 2008).

2.3.4 Framtidens material

Det finns en del material som håller på att utvecklas som kan vara intressanta för framtiden men som det saknas information om eller är i behov av mer forskning. Nedan presenteras några sådana material och byggkomponenter. Det är dock viktigt att beakta att byggbranschen är en konservativ bransch som har många standarder och koder som gör att det tar lång tid för nya material att ta sig in på marknaden (Adl-Zarrabi & Johansson, 2017). De superisolerande materialen VIP och aerogel är material som finns på marknaden men som har en större potential och skulle också kunna ligga under framtida material.

Reflekterande färg

Enligt Li et al. (2020) har de skapat en fasadfärg som reflekterar bort UV-strålning så effektivt att färgen kan kyla byggnaden och minska behovet av nedkylning i varma länder. Mer forskning behövs för att ge ett säkert resultat. Thermogaias är ett svenskt företag som påstår sig redan ha en fasadfärg som kan ge 8–20% i energibesparingar. Färgen ska vara avfuktande och värmereflekterande vilket ska bidra till energibesparingar (Thermogaia, 2018). Ingen vetenskaplig studie finns presenterad på Thermogaias hemsida och kritik från forskare bland annat Björk (2015) gör att trovärdigheten för produkten är tvivelaktig.

Koldioxidabsorberande tätskikt

Företaget Derbigum har ett tätskikt som är belagt med olivin-granulat. Olivin är ett mineral som har möjlighet att absorbera koldioxid. Tätskiktet ska klara av att ta upp 1,75 kg CO₂/ m₂ genom en kemisk reaktion som sker vid nederbörd. Koldioxiden neutraliseras och resterna blir kiseldioxid och magnesiumkarbonat som är ofarligt för naturen (Derbigum Sverige AB, 2020). Tätskiktets livslängd ska vara 45 år men

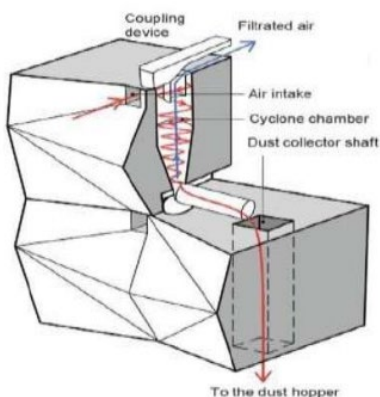
information om hur länge tätskiktet absorberar koldioxid är okänt. Även viktig information som hur mycket koldioxid som släpps ut av tillverkningen av tätskiktet är inte känt, ingen LCA eller liknande information finns tillgänglig på företagets hemsida och ingen kontakt har kunnat uppnås med företaget. Figur 2.6 visar tätskiktet.



Figur 2.6 Bilden föreställer Derbigums koldioxidabsorberande tätskikt vilket ser ut som ett vanligt pappskikt (Derbigum Sverige AB, 2020).

Föroreningsabsorberande tegelsten

En tegelsten som byggs som en skalmur som renar luften som kommer in i byggnaden och skapar bättre inomhusmiljö designades av vad Carmen G Trudell och några studenter. Tegelstenen är gjord av betong och innehåller en cyklonseparator och plastkopplingar. Cyklonseparator är vad som gör att de förorenade partiklarna separeras och sjunker till en samlingsplats i den nedersta stenen. Det är meningen att tegelstenen ska fungera helt utan att använda någon energi efter tillverkning men rengöring för att tömma samlingsplatsen av förorenade partiklar kan kräva periodiskt dammsugande. Figur 2.7 visar hur tegelstenen fungerar. Tegelstenen rensar större partiklar så som damm och pollen med en effektivitet på 100%. Effektiviteten när det kommer till finare partiklar rensas endast till ca 30% (Shirin & Jayakumar, 2020). Partiklar så små kommer från förbränningen av fossila bränslen (WHO Regional Office for Europe, 2005).



Figur 2.7 Visar hur tegelstenen fungerar (Shirin & Jayakumar, 2020).

2.4 Fönster och dörrar

2.4.1 Fönster

Vid litteraturstudien av fönster låg U-värdet i fokus för att få ett så energieffektivt fönster som möjligt. För ett englasfönster ligger U-värdet runt 6 W/m²K, för ett 2-glasfönster med luft ligger U-värdet runt 2.9 W/m²K samt för ett 3-glasfönster med luft ligger U-värdet runt 1.9 W/m²K (Sandin, 2010). Litteraturstudien om fönster avgränsas till 3-glas eller bättre för att enbart fokusera på de moderna fönster som finns på marknaden idag.

Vid jämförelse av energismarta fönster på den svenska marknaden har tre fönstertillverkare i Sverige valts. Resultaten visas i Tabell 2.2 där ett aluminiumklätt träfönster med 3 glas från Nordiska Fönster har bäst U-värde på 0.7 W/m²K

Tabell 2.1. Undersökning av olika värden på fönster som finns på den svenska marknaden. Fönsterna som jämförts är öppningsbara vridfönster. Elitfönster har inte någon information om vad deras glas har för U_g-värde.

Tillverkare	Material	U-värde [W/m ² K]	U _g -värde [W/m ² K]	g-värde [%]	LT-värde [%]	Garanti [år]
Nordiska Fönster ¹	PVC 3-glas	0.72	0.5	51	72	30
	Trä, 3-glas	0.8	0.5	51	72	10
	Aluminium 3-glas	0.75	0.5	51	72	10
	Aluminiumklätt trä 3-glas	0.7	0.5	51	72	30
Elitfönster ²	Trä 3-glas	0.99	Finns ej information	53	74	20
	Aluminiumklätt trä 3-glas	0.79	Finns ej information	51	72	30
Kronfönster ³	PVC 3-glas	0.9	0.7	60	82	30
	Trä 3-glas	0.9	0.7	39	64	20
	Aluminiumklätt trä 3-glas	0.9	0.7	39	64	30

¹ Nordiska Fönster (2021) och Pressglas (2019) ² Elitfönster (2021) ³ Kronfönster (2021)

Tonade fönster med hjälp av spänning

Smarta fönster som tonas då en låg elektrisk spänning tillförs har funnits på marknaden sedan några år tillbaka. Tanken är att glaset reagerar på solljus och blir opakt vilket skyddar från oönskad solvärmestrålning. Chromogenics är ett svenskt företag som grundades 2003 efter 20 års forskning på elektrokroma material vid Uppsala universitetet (ChromoGenics, 2021a). Med deras produkter kan en energibesparing på 30-40 % uppnås vid en renovering av fastighet där det idag sitter en 2-glas lösning (ChromoGenics, 2021b). Deras glas fungerar som ett automatiskt klimatsystem som

förhindrar oönskad solvärmestrålning. Detta ger ett stabiliserat inomhusklimat som är anpassat efter årstiderna. Förutom att blockera oönskad solvärme går det att välja glas med mycket låga U-värden. En 3-glaskasett med krypton ligger på $0.49 \text{ W/m}^2\text{K}$ samt en 4-glaskasett med krypton ligger på $0.31 \text{ W/m}^2\text{K}$. (ChromoGenics, 2019)

Vakuumglas

U_g -värdet för ett vakuumglas ligger nära U_g -värdet för 3-glas. Ett vacuumglas från tillverkaren Pilkington ligger på $0.9\text{--}1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Pilkington, 2017). Jämförelsevis med 3-glas som ligger på $0.5\text{--}0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ enligt Tabell 2.2. Fördelen med vacuumglas är att det är lika tjockt som ett englas. Vilket innebär att gamla englasfönster kan rustas upp med vacuumglas och få betydligt mer energismarta glas med samma fönsterbågar. Detta kan vara fördelaktigt om det finns krav på att bevara utseendet på fönster i äldre byggnader (Pilkington, 2021).

Naturlig belysning

Parans Solar Lighting leder in solljus i inomhusmiljöer där solljus från fönster inte når. Solljussamlarna sätts på taket och följer solen under dagen. Samlarna är moduler som kan anpassas efter behovet av solljus i byggnaden. Solljuset kan ledas upp till 100 meter in i byggnaden med hjälp av optiska fiberkablar och syns som punktljus, väggljus eller takljus som lyser med ett naturligt ljus (Parans, 2021a). Att leda in solljus långt in i byggnaden kan även innebära en energibesparing då mindre elektriskt ljus kommer behövas (Parans, 2021b). I Figur 2.7 visas solljussamlare och ett exempel på hur det kan se ut i ett rum som inte har fönster.



Figur 2.8 Bilderna föreställer Parans produkt. Till vänster är solljussamlarna som fångar in solljuset på taket och till höger finns ett exempel på hur ljuset genom takljus ledas in i rummet som inte har fönster i närheten (Parans, 2021a).

Vatten- och hydrogelsfönster

Det finns även fönster som inte har kommit ut på marknaden men som kan vara intressanta i en mer innovativ aspekt. Vatten- och hydrogelsfönster är ett sådant som har tagits fram av forskare från Nanyang Technological University i Singapore. Fönstret har en hydrogel-lösning som är inkapslad mellan två fönsterrutor. Lösningen stelnar och blir ogenomskinlig när fönstret hettas upp, se Figur 2.8, vilket stoppar en stor del av den direkta solinstrålningen som annars kan överhätta byggnader (Zhou, et al., 2020).

Blandningen med vatten som har en låg värmegenomgångskoefficient ger också att fönstret har en bättre isoleringsförmåga och gör fönstret mer energieffektivt än ett standard lågenergifönster. Detta innebär att fönstret både har en värmande och en kylande funktion. Vatten- och hydrogelsfönstret ska därför kunna minska energibehovet för uppvärmning, ventilation och luftkonditionering i Singapore med 45 % för en byggnad jämfört med vanliga traditionella fönster (Zhou, et al., 2020).



Figur 2.9. Här visas hur vatten- och hydrogelsfönstret ser ut vid olika temperaturer. Fönstret blir ogenomskinligt vid högre temperaturer vilket leder till lägre temperaturer inomhus vid varma somrardagar (Zhou, et al., 2020).

Solcellsfönster

En annan ny uppfinning är transparenta solcellsfönster. Det som lockar är att kunna sätta solceller på fönsterna istället för på fasaden eller taket på byggnaden. Det finns olika tekniker till att få transparenta solceller. En av dem är tunnfilmssolceller där filmen vanligtvis är några mikrometer tjocka och består av olika material (Nohrstedt, 2020). Två vanligare exempel är CIGS som har en film av koppar, indium, gallium och selen, samt solcellen CdTe där filmen består av kadmium och tellurid. Problemet med tunnfilmssolceller är att ljuset som kommer in oftast blir rödaktigt. Andra typer av tunnfilmssolceller är polymersolceller som vanligen består av organiska material. Perovskitsolceller (perovskit är en mineral) är en annan typ där verkningsgraden har ökat kraftigt under de senaste åren. Kvantpricksolceller är en metod där kvantprickars storlek varierar för att styra vilka ljusvåglängder som solcellerna ska absorbera. Det finns även grätzelsolceller där ljusets fångas av nanopartiklar av titandioxid som doppas i ett färgämne (Nohrstedt, 2020).

En annan metod är att använda salter för att få genomskinliga solceller. TLSC är en sådan solcell som fångar ultraviolett och nära infrarött ljus med hjälp av fluorescerande ämnen. Ämnena leder sedan vidare ljuset till glasets kant för att omvandlas till el av en tunnfilmssolcell. Plasmoniska solceller är också omtalade och bygger på att silvernanopartiklar vibrerar och därav ger el (Nohrstedt, 2020).

2.4.2 Dörrar

Dörrar utger en väldigt liten del av klimatskalet och har därför inte undersökts lika mycket i litteraturstudien. Efter mailkonversation med företaget Daloc och en chattkonversation med företaget EAB kunde U-värden tas fram för dörrar som redovisas i Tabell 2.3. U-värdena beror på utformningen på dörren samt om dörren ska ha fönster i sig. De U-värden som redovisas nedan är det bästa som går att få för vardera företag.

Tabell 2.2. Undersökning av U-värden på entrédörrar som finns ute på den svenska marknaden.

Dörrtillverkare (entrédörrar)	Material	U-värde [W/m ² K]
Daloc ¹	Stål	0.9
EAB ²	Stål	1.0

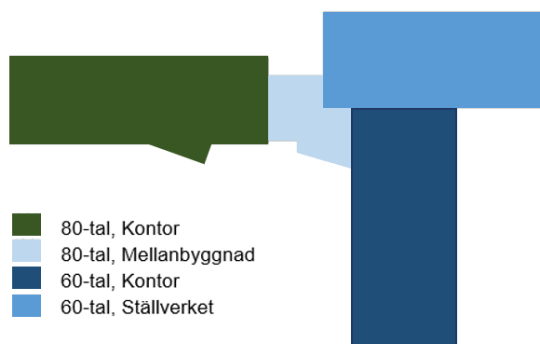
¹ Mailkontakt med Daloc (2021) ² Chattrkontakt med EAB (2021)

3 Byggnadens befintliga skick

Byggnaden i Trelleborg på Skyttsgatan 16, se Figur 3.1, är uppförd under två perioder. En del under 60-talet och en del under 80-talet. När byggnaden beskrivs i detta arbete kommer den delas upp i 60-talsdelen där det skiljs på kontorsdel och ställverk samt 80-talsdelen där det skiljs på kontorsdel och mellanbyggnad enligt Figur 3.1.



Figur 3.1 Foto av Trelleborgs Energi. Visar hela byggnaden från söder.



Figur 3.2 Bilden visar uppdelningen av byggnaden.

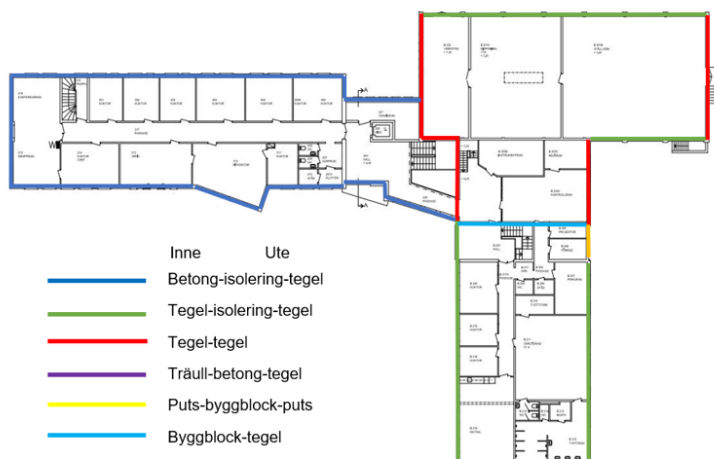
3.1 60-talsdelen

Denna del består av en kontorsdel och ett gammalt ställverk. Ställverket används idag som delvis förvaring och delvis brytarcentral. Ställverket har ett källarplan där väggarna består av träull, betong och tegel. På andra våningen består väggarna av massivt tegel eller tegel, isolering och tegel. Ställverkets tak antas bestå av håldäck i betong och takpapp i form av ett massivt tak. Fönster i ställverket antas vara öppningsbara 2-glas med argon mellan glasen och ett U-värde på $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kontorsdelens klimatskal har olika typer av väggar och tak. Väggtyperna redovisas i Figur 3.2 och Figur 3.3. Taktyperna är också olika. Från ställverket till väggen som heter "byggblock-tegel" i Figur 3.3 är det samma massiva tak som ställverket har, det vill säga håldäck av betong och en takpapp. Resten av taket på 60-talsdelen har en kallvind uppbyggd av ramverkstakstolar med stenullsskivor som isolering. Ytskiktet på kallvinden är ett koppartak. Kontorsdelen har grundtypen ouppvärmad kryppgrund. Fönster i kontorsdelen antas vara öppningsbara 2-glas med argon mellan glasen och ett U-värde på $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Fönsterna i 60-talsbyggnaden hade även en neddragbar solscreen. På våning ett är fönsterna ej öppningsbara. På våning två är de öppningsbara. Alla dörrar i 60-talsdelen har antagits ha U-värdet $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ efter mailkontakt med dörrentillverkarna Daloc (2021). Mer detaljerade antaganden kan hittas i kapitel 4.9.



Figur 3.3 Visar antagna väggtyper i plan 1.



Figur 3.4 Visar antagna väggtyper i plan 2.

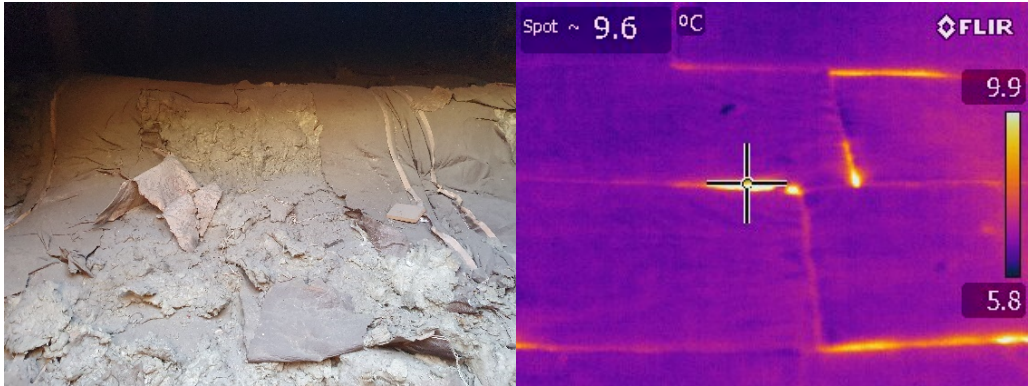
3.2 80-talsdelen

Klimatskalet i 80-talsbyggnaden som mestadels består av kontor har väggar uppbyggda av betong, isolering och med tegel på utsidan enligt Figur 3.2 och Figur 3.3. 80-talsbyggnaden består av två delar, en del som är kontor och en del som är en mellanbyggnad för att koppla samman 60-talet och 80-talet. Taket över kontorsdelen är i form av en kallvind uppbyggd av fackverkstakstolar med stenullsisolering. På utsidan av taket är det tegeltakpannor. Mellanbyggnaden antas ha liknande konstruktion i väggar och tak. Ytskiktet på taket över mellanbyggnaden är koppar. Grunden är platta på mark och fönsterna är 2-glas med argon och har antagits ha U-värde $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det är fastklistrad solfilm på fönsterna. Nedersta plan har fasta fönster och på plan två är de öppningsbara. Alla dörrar i 80-talsdelen har antagits ha U-värdet $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ efter mailkontakt med dörrtillverkarna Daloc (2021). Mer detaljerade antaganden kan hittas i kapitel 4.9.

3.3 Besök på plats

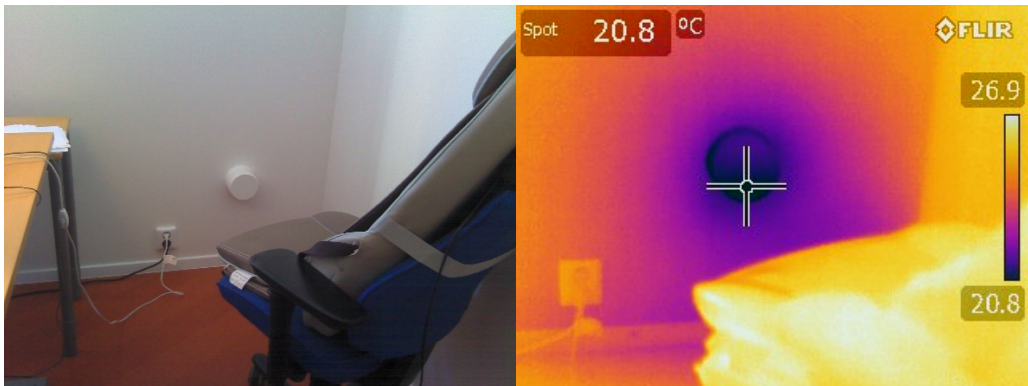
Innan besöket gjordes en enkät till de personer som vistas i byggnaden för att lokalisera problemområden. Under besöket dokumenterades information med hjälp av en IR-kamera för att se eventuella värmeläckage. På grund av tekniska problem med avläsning av resultat från IR-kamera gjordes dokumentation för IR-resultaten med hjälp av egen kamera. Dokumentation gjordes även skriftligt om byggnadens skick och vad som kunde ses på plats. Även mejlkontakt med Trelleborgs kommuns arkitekt fördes för att ta reda på om förändringar av byggnaden kunde leda till avslag för bygglov. Arkitekten påpekade att fönsternas form och storlek samt att byta från tegelfasad kunde ge avslag vid bygglovsansökan hos byggnadsnämnden. Därför kommer fönsternas form och storlek inte förändras.

Besök på plats visade att fönsterna i 80-talsdelen var i behov av att bytas ut, karmarna hade börjat förfalla. Isoleringen i taken var skadad och låg i endast ett skikt vilket gjorde att det läckte ut mycket värme mellan skivorna. Temperaturskillnaderna i springorna där värmen läckte ut går att se i Figur 3.4. På vissa ställen i taket där installationer och takstolar går igenom klimatskalet kan temperaturskillnaden ligga på 12 grader.



Figur 3.5 Bilden till vänster är från 60-talsdelen och visar hur skadad isoleringen är. Bilden till höger visar läckage av värme mellan stenullsskivorna på 80-talsbyggnaden. Temperaturskillnaden är ca 4 grader.

I 80-tals byggnaden visade värmekameran att Air conditioning-kanaler och anslutningar av innerväggar och yttreväggar var de stora köldbryggorna. I Figur 3.5 och Figur 3.6 kan temperaturskillnaderna ses.

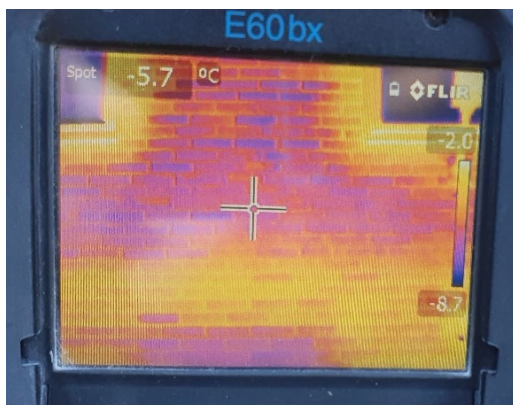


Figur 3.6 Bilderna visar en vägg från 80-talsbyggnaden där varje kontor har en AC-kanal igenom klimatskalet. Vid varmare klimat kopplas en portabel AC på uttaget för kylning. Temperaturskillnaden är ca 6 grader.

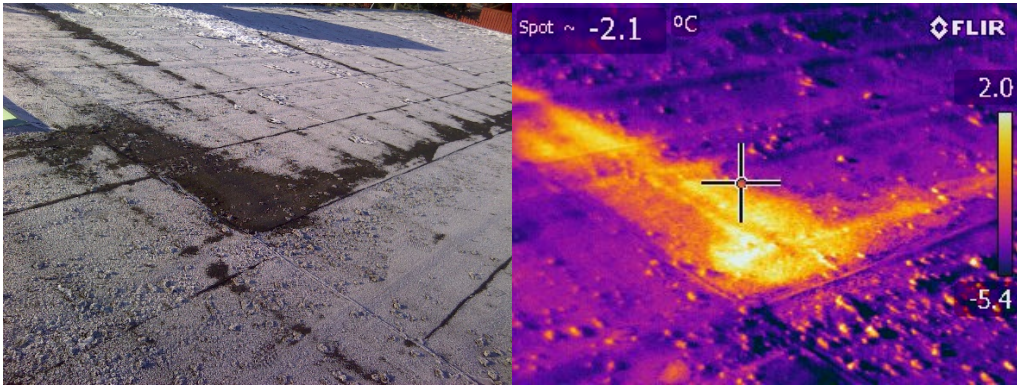


Figur 3.7 Bilderna visar ett hörn från 80-talsbyggnaden. Temperaturskillnaden är ca 4 grader.

Det fanns tydliga tecken på att bjälklaget och fönsterna var köldbryggor i 60-talsbyggnaden, se Figur 3.7. I ställverket orsakade en innervägg köldbrygga mot parallelltaket som visas i Figur 3.8.



Figur 3.8 Visar mellanbjälklaget och fönsternas köldbryggor från utsidan. Mellanbjälklaget köldbrygga sträcker sig runt hela byggnaden. Temperaturskillnaden är ca 7 grader.



Figur 3.9 Bilden visar ställverkets tak. Här ser man tydligt en köldbrygga mot anslutande innerväggar, både med och utan värmekameran. Temperaturskillnaden är ca 7 grader.

4 Metod

Efter platsbesöket användes olika metoder för att undersöka renoveringsförslag till byggnaden. Material och komponenter har jämförts i en livscykelutvärdering. Alla diagram för isoleringsmaterial som redovisas i resultat har information från EPD:er för respektive material. EPD:erna redovisas i referenslistan. Efter detta togs de nya U_{medel} -värdena för väggar och tak fram, som sattes efter Miljöbyggnad 3.1, nybyggnad indikator 1. Tjockleken för att uppnå det nya U_{medel} -värdena på väggar och taken har sedan räknats ut för respektive material för att se hur dessa skiljer sig. Detta för att visa hur tjockleken på väggar, massiv tak och vindsbjälklag ändrats. Därefter gjordes en verklighetstrogen modell av den befintliga byggnaden i programmet IDA ICE för att kunna göra olika simuleringar. Då ett dynamiskt 4-glasfönster inte gick att testas i IDA ICE fick detta göras separat i ESBO. Med simuleringar har sedan data på energibesparingar med de olika renoveringsförslagen tagits fram. Till sist kontrolleras byggnaden utifrån indikatorer i Miljöbyggnad 3.1 för att se hur byggnaden lever upp till kraven som ställs på en nybyggnad idag. Indikatorerna har antingen beräknats eller simulerats i IDA ICE.

4.1 Samarbete

Detta examensarbete som behandlar en byggnads klimatskal görs i samarbete med ett examensarbete som behandlar installationer på samma byggnad. Installationsgruppen består av Alexandra Da Fonseca Bernardo och Diana Kron (ISRN LUTVDG/TVIT-215080). Samarbetet har gjorts med zoommöten ungefär varannan vecka som omfattade diskussion av antaganden samt stöttning i arbetsgången. Besöket till byggnaden gjordes samtidigt av båda två grupper för att kunna ta hjälp av varandra och diskutera om det hade behövts. IDA ICE-filen är skapad av båda grupperna för att grupperna ska få en så komplett byggnad som möjligt. Detta resulterar i en mer verklighetstrogen modell. Bestämning av vilka punkter som ska behandlas i Miljöbyggnad har diskuterats fram av båda grupper.

4.2 Val av material och komponenter

Material och komponenter har studerats utifrån ett miljömässigt livscykelperspektiv med hjälp av EPD:er och Renobuild. I EPD:erna har fokus varit på klimatpåverkan och GWP-värdena men de andra kategorierna resursanvändning samt avfall har även tittats på i arbetet särskilt om materialen varit likvärdiga.

4.3 Simulering av klimatskal

IDA ICE eller IDA Indoor Climate and Energy är ett simuleringsprogram som är utvecklat av EQUA Simulation AB. Programmet finns tillgängligt för att simulera byggnader, tunnlar och energisystem (EQUA, 2020a). I detta arbete används IDA ICE 4.8 för byggnader för att bland annat kunna analysera energianvändningen i byggnaden före och efter förbättringar i klimatskalet. IDA ICE är ett beprövat simuleringsverktyg men för att kontrollera att byggnaden är korrekt uppbyggd i programmet har en enklare handberäkning gjorts. IDA ICE är ett godkänt program att använda för att få fram vissa värden till indikatorer i miljöbyggnad.

4.4 Energisimulering av fönster

ESBO, Early stage building optimization är också ett simuleringsverktyg för byggnaders försörjningsystem. Det är baserat på IDA ICE och skillnaden är att ESBO enbart utgår från ett rum vilket gör att det är lite lättare att använda då inte en hel geometrisk modell behövs skapas (EQUA, 2020b). I detta arbete används verktyget till att simulera 2-glas fönster, 3-glasfönster samt dynamiska 4-glasfönster för att jämföra energianvändning.

4.5 Livscykelutvärdering fönsterkarm och båge

Renobuild är en beslutsmetod för utvärdering av renoveringsförslag utifrån miljömässig, ekonomisk och social hållbarhet. Verktyget utgår från ett LCA perspektiv och kan jämföra både klimatpåverkan och primärenergianvändning (RISE, 2017). Detta arbete berör endast den miljömässiga hållbarhets biten. Tillsammans med fastighetsbranschen har forskningsinstitutet RISE tagit fram två verktyg, ett för bostad och ett för skola. För detta arbete som berör kontorslokal används verktyget för skola. Verktyget är ett Excellark där val av olika sorters renoveringsåtgärder kan jämföras. I detta arbete har Renobuild använts för att jämföra olika material på fönsterkarmar och bågar för att se vilket som har minst klimatpåverkan. Renobuild visar inte enskilda tillverkares påverkan men är en mer generell för att se vilka produkter som kan undersökas vidare.

4.6 Utvärdering av resultat

Miljöbyggnad är ett svenskt certifieringssystem för byggnader för att kvalitetssäkra att hållbarhet har genomströmat byggnadens alla processer (Sweden Green Building Council, 2021). För godkänd certifiering krävs att en tredje part granskar som kontrollerar byggnadens miljöprestanda. Det finns miljöbyggnad för nybyggnation och befintlig byggnad. Eftersom detta arbete strävar efter höga mål när det gäller hållbarhet har det valts att följa nybyggnadcertifieringen då kraven är högre. Det finns tre betygsnivåer som en byggnad kan få, brons, silver och den högsta nivån guld. Certifieringen är indelade i områden, aspekter och indikatorer. Indikatorerna går in på ett specifikt ämne till exempel indikator 1 värmeeffektbehov eller indikator 11 dagsljus. Varje indikator kan få nivån brons, silver eller guld. Vissa indikatorer slås sedan ihop i aspektkategorin för att sedan slås ihop i områdes kategorin. Detta för att de olika indikatorerna vägs olika mycket. Se Figur 4.1 för att få en bild av hur det är indelat.

Nyproducerad byggnad Miljöbyggnad 3

Byggnad
Kommentar



		Indikator	Aspekt	Område	Byggnad
Energi	1	Värmeeffektbehov	SILVER	SILVER	BRONS
	2	Solvärmelast	GULD		
	3	Energianvändning	BRONS		
	4	Andel förnybar energi	SILVER		
Innemiö	5	Ljud	GULD	BRONS	
	6	Radon	BRONS		
	7	Ventilation	SILVER		
	8	Fuktsäkerhet	BRONS		
	9	Termiskt klimat vinter	BRONS		
	10	Termiskt klimat sommar	SILVER		
	11	Dagsljus	GULD		
	12	Legionella	BRONS		
Material	13	Loggbok med byggvaror	SILVER	SILVER	
	14	Utfasning av farliga ämnen	GULD		
	15	Stommen och grundens klimatpåverkan	BRONS		

Figur 4.1 Ett exempel på hur hopslagning av olika nivåer i miljöbyggnad kan se ut. Källa (Sweden Green Building Council, 2021).

Miljöbyggnad har använts i arbetet som en kontroll av hur bra byggnaden är ur ett miljömässigt hållbarhetsperspektiv enligt dagens standard. Alla indikatorer har inte behandlats då vissa indikatorer inte berör klimatskalet eller har avgränsats bort. Några indikatorer har även berörts i installationsexamensarbetet av Alexandra Da Fonseca Bernardo och Diana Kron. De indikatorer som undersöks i deras arbete miljösmart renovering av kontorsbyggnad med fokus på installationer är; 1,3,4,7, 9, och 10. Detta arbete har behandlat indikatorerna 1, 2, 3, 9, 10 och 11.

Nedan kommer en kort beskrivning av hur indikatorerna har tagits fram, för mer utförlig information om varje indikator se dokumentet Miljöbyggnad 3.1 från Sweden Green Building Council (2020).

Indikator 1 Värmeeffektbehov: Togs fram med ett beräkningsverktyg i form av ett Excel dokument från Sweden Green Building Council (2021). Indikatorn har även använts för att se vilka U-värden och värden för ventilation som har behövts för att uppnå ett visst värmeeffektbehov.

Indikator 2 Solvärmelast: Här har en förenklad metod använts och endast vistelserum med fönster i 90–270 grader har undersökts enligt Miljöbyggnad 3.1 (Sweden Green Building Council, 2021).

Indikator 3 Energianvändning: Har gjorts tillsammans med gruppen som behandlar installationer. Byggnadens primärenergi har beräknats fram enligt BBR och värden från simuleringar i IDA ICE, sedan jämförs det med den befintliga byggnadens primärenergital för att se hur byggnaden kan förbättras.

Indikator 9 Termiskt klimat vinter: Nivån har här bedöms utifrån PPD, Predicted percentage dissatisfied, som togs fram med simuleringar från IDA ICE. PPD är den procentandel som förväntas vara missnöjda med rummets termiska klimat. Det termiska klimatet består av två delar, termisk komfort för de personer som vistas i byggnaden och termiskt klimat för byggnaden. Termisk komfort är hur ett utrymme upplevs med hänseende på temperatur och drag (Boverket, 2021). Jämförelsen i Miljöbyggnad 3.1 har gjorts med byggnadens mest kritiska rum under vintern (Sweden Green Building Council, 2021).

Indikator 10 Termiskt klimat sommar: Har också tagits fram med PPD-index från IDA ICE fast vid en kritiskt varm och solig dag eller med en bedömning på indikator 2 (Sweden Green Building Council, 2021).

Indikator 11 Dagsljus: Har gjort simuleringar i IDA ICE för att få fram dagsljusfaktor och jämfört det med Miljöbyggnad 3.1 krav. Det är medianvärdet i IDA ICE som används för att se hur mycket dagsljus som finns i rummen.

4.7 Renoveringsförslag

Besök på plats visade stora köldbryggor i konstruktionen, se Figur 3.7 och Figur 3.8. Det bästa alternativet är utvändig isolering för väggar samt för det massiva taket för att minska köldbryggor. Därför valdes det att fortsätta undersöka utvändig tilläggsisolering. Då det massiva taket är ett antagande, måste det först undersökas närmare så taket inte har en ventilerad luftspalt. Har taket en luftspalt måste den tätas för att tilläggsisoleringen ska fungera (Arfvidsson, et al., 2017). För övriga tak är alternativet att tilläggsisolera på det befintliga vindsbjälklaget lämpligt då det finns plats för ökad isolering. När det kommer till fönster är de i behov av att bytas ut därför gavs det förslag på olika fönster. Även dörrarna föreslå bytas ut eller renoveras på grund av BBR:s rekommendationer för U-värden vid renovering som skrivs om i kapitel 2.2.1. Vid jämförelser i IDA ICE fanns det tre fall vid undersökning av de olika tilläggsmaterialen och komponenter. Befintligt fall, ett fall där respektive byggdel förbättrades samt ett fall där hela klimatskalet förbättrades.

4.7.1 Jämförelse av isoleringsmaterial

Tabell 4.1 nedan visar en jämförelse över materialen som presenterats i kapitel 2.3 för att få en överblick. För att en jämförelse ska vara möjlig har tillverkare valts ut. Kriterierna för vilka tillverkare som valts har varit: tillgänglighet i Sverige och tillgänglig EPD.

Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

Tabell 4.1 En sammanställning av information om de olika materialen.

Material	Utvald tillverkare	Produktnamn	λ -värdet [W/mK]	EPD	GWP [kg CO ₂ eq] A1-A3	Livs-längd [år]
Skivor						
Stenull ¹	Paroc Group	PAROC eXtra pro	0,033	Ja	1,82	<60
Stenull ² (Fasadskiva)	Paroc Group	PAROC Cortex one	0,033	Ja	2,05	<60
Stenull Natura ³ (miljövänlig)	Paroc Group	PAROC NATURA LANA	0,036	Ja	0,59	<60
Glasull ⁴	Saint-Gobain Sweden AB, ISOVER	ISOVER UNISkiva 33	0,033	Ja	0,62	60
Glasull ⁵ (Fasadskiva)	Saint-Gobain Sweden AB, ISOVER	ISOVER Fasadskiva 30	0,030	Ja	1,32	60
Vakuuminisering ⁶	Porextherm Dämmstoffe GmbH	Vacupor® NT-B2-S	0,007	Ja	40,6	30-50
Aerogel ⁷	Paroc Group	PAROC XIA 001 Spaceloft	0,015	Ja*	12,3	50
Cellulosa-fiber ⁸	Peter Seppele Gesellschaft m.b.H.	Thermofloc	0,042	Ja	0,08	<50
Träfiber ⁹	Hunton Fiber AS	Hunton Trefiberisolasjon Plate	0,038	Ja	-2,38	60
Träfiber ¹⁰ (Fasadskiva)	Hunton Fiber AS	Hunton Trefiberisolasjon Plate	0,049	Ja	-3,60	60
Linfiber ¹¹	Isolina Oy	Isolina	0,038	Nej	Okänt	<75
Hampfiber ¹²	Ekolution AB	Ekolution® Hemp Fibre Insulation	0,040	Ja	-2,22	50-75
Lösull						
Stenull ¹³	Paroc Group	PAROC BLT 3	0,041 vid densitet 33 kg/m ³	Ja	1,6	<60
Glasull ¹⁴	Saint-Gobain Sweden AB, ISOVER	ISOVER InsulSafe	0,042 vid densitet 15 kg/m ³	Ja	0,56	60
Träfiber ¹⁵	Hunton Fiber AS	Hunton Trefiberisolasjon Innbläst	0,038 vid densitet 38 kg/m ³	Ja	-1,83	60
Takskiva						
Stenull ¹⁶	Paroc Group	PAROC ROS 30	0,036	Ja	4,26	<60
Glasull ¹⁷	Saint-Gobain Sweden AB, ISOVER	ISOVER ROBUST Takboard	0,033	Ja	4,85	60

Fotnot: *EPD:n utgick 2020-09-18. ¹Paroc (2019a) ²Paroc (2019b) ³Paroc (2021) ⁴Isover (2020) ⁵Isover (2017) ⁶Porextherm (2018) ⁷Paroc (2013) ⁸Peter Seppele (2021) ⁹Hunton (2020a) ¹⁰Hunton (2017) ¹¹Isolina (2021) ¹²Ekolution (2020) ¹³Paroc (2020a) ¹⁴Isover (2021) ¹⁵Hunton (2020b) ¹⁶Paroc (2018) ¹⁷Isover (2017)

4.7.2 Undersökning av tilläggsisoleringsmaterial på väggar

I Tabell 4.1 redovisas de material som undersökts. Sex material undersöktes närmre för utvändigt tilläggsisolering i väggar. De material som undersöktes var stenullskivor, stenullsskivor Natura, glasullskivor, aerogel, vacuumisolering och träfiberskivor. Både stenull och glasull är vanliga material vilket har visat sig vara väl fungerande i väggar i många år och har blivit miljövänligare med tiden då tekniken utvecklats. Aerogel och vacuumisolering har valts på grund av de låga λ -värdena. Träfiber valdes på grund av det negativa GWP-värdet.

En undersökning har gjorts med Miljöbyggnad 3.1, indikator 1 för att få fram rimliga U-värden på väggar. Detta för att sträva mot Miljöbyggnad 3.1 nivå guld. Väggarna i IDA ICE har sedan fått tilläggsisolering för att få det nya U-värde som tagits fram.

4.7.3 Undersökning av tilläggsmaterial på massiva taket

För tilläggsisolering av det massiva taket är det lämpligt att välja takskivor som är av det hårdare slaget. Från Tabell 4.1 väljs materialen glasullstakskiva och stenullstakskiva som undersöks närmre. En undersökning har gjorts med Miljöbyggnad 3.1, indikator 1 för att få fram rimliga U-värden på det massiva taket. Detta för att sträva mot Miljöbyggnad 3.1 nivå guld. Det massiva taket i IDA ICE har sedan fått tilläggsisolering för att få det nya U-värde som tagits fram.

4.7.4 Undersökning av tilläggsmaterial i vind

Vid tilläggsisolering i vindsutrymmen kan de sex material som tagits upp ovan i tilläggsisolering av väggar också användas. Att tilläggsisolera med plattor på vindsbjälklaget fungerar bra. Dock finns det en risk för värmeläckage mellan plattorna samt runt genomgående installationsrör (Arfvidsson, et al., 2017). Utöver dessa sex material går det även att använda lösullsalternativen stenull, glasull och träfiber som finns i kapitel 4.8.1, Tabell 4.1. Då lösull blåses in och bildar ett jämnt skikt, även runt installationer, minimeras risken för värmeläckage. Därför har vidare undersökning av tilläggsisolering av vind bestått av lösullsalternativen. En undersökning har gjorts med Miljöbyggnad 3.1, indikator 1 för att få fram rimliga U-värden på vind. Detta för att sträva mot Miljöbyggnad 3.1 nivå guld. Vinden i IDA ICE har sedan fått tilläggsisolering för att få det nya U-värde som tagits fram.

4.7.5 Undersökning av fönsteralternativ

För att välja ut vilka fönster som är bäst ur ett LCA perspektiv användes Renobuild. Programmet har använts för att koncentrera sig på fönsterkarm och båge som kan vara helt i trä, helt i metall, i trä med en beklädnad av aluminium eller i PVC. Koldioxidutsläppen för de olika materialen kan variera en del beroende på tillverkaren. Det är därför en fördel att använda sig av Renobuild då indata för de olika materialen är generella mätvärden. De värden som lagts in i Renobuild är typ av material samt materialets medellivslängd enligt Tabell 2.2 i kapitel 2.4.1. Vidare undersökning i IDA ICE har det fönster med lägst U-värde i

Tabell 2.2 valts. Även Chromogenics dynamiska 4-glas fönster som hittas i kapitel 2.4.1 har undersökts närmre i ESBO.

4.7.6 Undersökning av dörralternativ

Som nämnt i litteraturstudien kapitel 2.4.2, är dörrarna är en väldigt liten del av byggnaden som inte gör en större påverkan på energianvändningen. Därav har den dörr med bäst U-värde från litteraturstudien, i kapitel 2.4.2, Tabell 2.3, valts. Vilket är en dörr från Daloc som har ett U-värde på 0.9 W/m²K. Denna dörr har sedan granskats i IDA ICE.

4.8 Ingångsdata till beräkningar

Efter genomgång av ritningar och besök på plats har vissa antaganden gjorts enligt nedanstående tabeller, se Tabell 4.1 till och med Tabell 4.17 som senare har använts för beräkningar. För att komma fram till önskade U_{medel}-värden för respektive byggnadsdel har Miljöbyggnad 3.1, nybyggnad indikator 1 använts som en riktlinje. Nya önskade U_{medel}-värden redovisas i Tabell 4.1 och alla värdena följer BBR:s rekommendationer. Ett antagande är att huset står vinklat 45 grader åt öster.

Tabell 4.2 U_{medel} för den befintliga byggnaden samt önskade U_{medel} som grundar sig i Indikator 1. U_{medel}-värdena är beräknade i IDA ICE.

Komponent	U _{medel} befintlig byggnad [W/m ² K]	Önskat U _{medel} [W/m ² K]
Väggar	0,49	0,18
Tak	1,26	0,1
Golv	0,09	0,09
Fönster	1.24	0,7
Dörrar	1.38	0,9

Tabell 4.3 Antaganden takhöjd och area. Värden är tagna från utmätningar på ritningar.

Område	Våningsplan	Takhöjd [m]	Area [m ²]
80-tal, kontor	1	2.70	366.9
	2	2.70	366.9
80-tal, mellanbyggnad	1	2.70	67.9
	2	2.70	67.9
60-tal, kontor	1	2.65	395.1
	2	2.55	395.1
60-tal, ställverk	1	2.03	340.6
	2	4.43	340.6
A _{temp} (uppvärmd yta)	-	-	2067.5

4.8.1 Material

Tabell 4.4 visar antagna värden för material i den befintliga byggnaden. Dessa material är dem som används i byggdelen i Tabell 4.4- Tabell 4.15.

Material	Värmeledningsförmåga [W/mK]	Densitet [kg/m ³]	Värmekapacitet [J/kgK]
Stenull ¹	0.037	30	850
Trä ²	0.11	440	1650
Gips ³	0.21	730	720
Tegel ⁴	0.6	1800	1350
Betong ⁵	2.4	2300	1050
Byggblock ⁶	0.2	650	1050
KC bruk ⁷	0.65	1800	1000
Träfiberskivor ⁸	0.085	1000	-
Cellplast ⁹	0.037	20	-

¹Rockwool (2017), ²Svenskt trä (2021), ³Svenskt trä (2017), ⁴Tegelmäster AB (2021) och Svenskt trä (2017), ⁵Betongindustri (2021), ⁶Nyströms cement (u.d.), ⁷Burström och Nilvé (2018), ⁸Träullit (2013), ⁹Sundolitt (2019)

4.8.2 Väggar

Tabell 4.5 Betong-isolering tegelväggen.

Skikt	Tjocklek [m]	λ [W/mK]
Puts	0.01	0.65
Betong	0.2	2.4
Stenullisolering	0.17	0.037
Tegel	0.12	0.6

Tabell 4.6 Tegel-isolering-tegelväggen.

Skikt	Tjocklek [m]	λ [W/mK]
Tegel	0.14	0.6
Stenull	0.07	0.037
Tegel	0.12	0.6

Tabell 4.7 Träull-betong-tegelväggen.

Skikt	Tjocklek [m]	λ [W/mK]
Träullskivor	0.03	0.085
Betong	0.2	2.4
Tegel	0.12	0.6

Tabell 4.8 Puts-byggblock-tegelväggen.

Skikt	Tjocklek [m]	λ [W/mK]
Puts	0.01	0.65
Byggblock	0.19	0,2
Tegel	0.12	0.6

Tabell 4.9 Puts-byggblock-putsväggen.

Skikt	Tjocklek [mm]	λ [W/mK]
Puts	0.01	0.65
Byggblock	0.19	0,2
Puts	0.01	0.65

Tabell 4.10 Tegel-tegelväggen.

Skikt	Tjocklek [mm]	λ [W/mK]
Tegel	0.37	0.6

4.8.3 Tak

Tabell 4.11 Ventilerade vindsutrymmet med tegelplattor.

Skikt	Tjocklek [mm]	λ [W/mK]
Gips	0.013	0.21
Glespanel	0.028	0,2
Reglar	0.22	0.11
Stenull		0.037
Stenull	0.05	0.037

Tabell 4.12 Ventilerade vinden med koppertak.

Skikt	Tjocklek [mm]	λ [W/mK]
Gips	0.013	0.21
Glespanel	0.028	0,2
Reglar	0.22	0.11
Stenull		0.037
Stenull	0.05	0.037

Tabell 4.13 Massiva taket. Motstånd har införts för påverkan av värmeövergångsmotstånden på insidan respektive utsidan hade stor påverkan.

Skikt	Tjocklek [mm]	λ [W/mK]
Betong	0.1	2.4
Motstånd	0.1	1

4.8.4 Grund

Tabell 4.14 Krypgrund.

Skikt	Tjocklek [m]	λ [W/mK]
Betong	0.2	2.4
Cellplast	0.1	0.037
Betong	0.2	2.4

Tabell 4.15 Platta på mark.

Skikt	Tjocklek [m]	λ [W/mK]
Betong	0.2	2.4
Cellplast	0.1	0.037
Plastfolie	0.002	-
Betong	0.2	2.4

Tabell 4.16 Källarplatta.

Skikt	Tjocklek [m]	λ [W/mK]
Betong	0.075	2.4
Cellplast	0.1	0.037
Betong	0.05	2.4

4.8.5 Fönster och dörrar

Tabell 4.17 Fönster och dörrar.

Fönster och dörrar	Bred [m]	Höjd [m]	Total area [m ²]	g-värde [%]
Fönster 1	1,2	1,2	1,44	59
Fönster 1-öppningsbart	1,2	1,2	1,44	
Fönster 2	0,6	1,2	0,72	
Fönster 2-öppningsbart	0,6	1,2	0,72	
Fönster 3	0,6	2,1	1,26	
Fönster 4	1,2	1,5	1,8	
Fönster 5	0,6	0,6	0,36	
Fönster 6	0,9	1,6	1,44	
Fönster 7	3,4	0,6	2,04	
Fönster 8	4,2	1	4,2	-
Fönster 9	3,6	0,6	2,16	
Dörr 1	0,9	2,1	1,89	
Dörr 2	1,1	2,1	2,31	
Dörr 3	1,2	2,1	2,52	
Dörr 4	1,8	2,1	3,78	
Dörr 5	2,4	2,7	6,48	

4.8.6 Köldbryggor

Köldbryggorna i den befintliga byggnaden före renovering grundar sig på ISO 14683:2017. Efter renovering har IDA ICE värde för typiska köldbryggor använts.

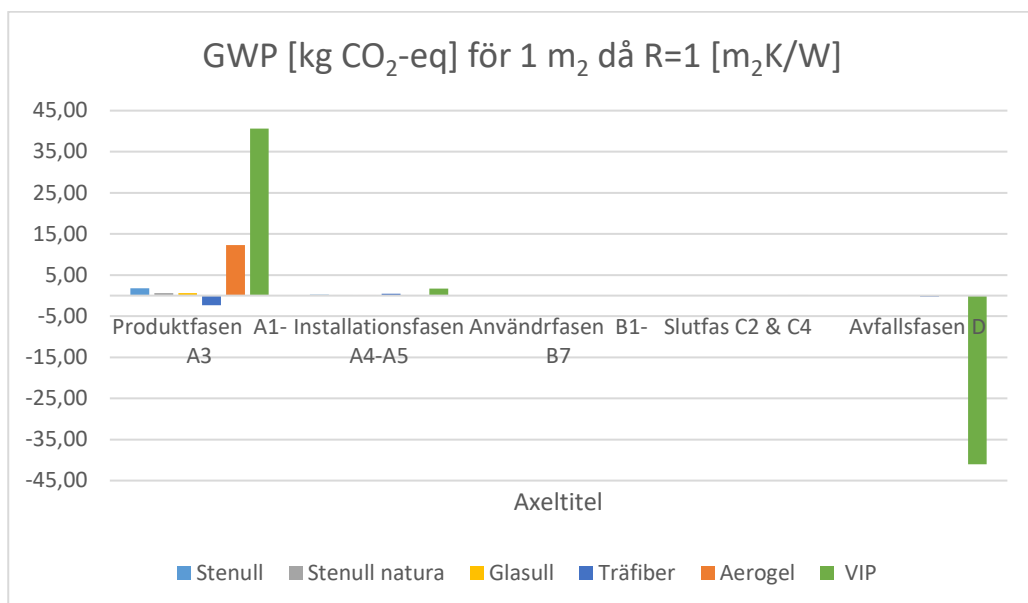
Tabell 4.18 Vid köldbryggor har mätmetoden överlag invändiga areor, oi använts. Detta valdes pga hur byggnaden byggdes upp i IDA ICE.

Köldbryggor	Före	Efter
Yttervägg/mellanbjälklag	0,95	0
Yttervägg/innervägg	0	0
Yttervägg/yttervägg	0,1	0,08
Fönster	1	0,1
Dörrar	1	0,1
Tak/yttervägg	0,75	0,18
Grund/yttervägg	0,75	0,5
Grund/innervägg	0	0
Tak/innervägg	0	0
Yttervägg, inre hörn	0,1	-0,1
Grund/yttervägg, inre hörn	0	-0,05
Tak/yttervägg, inre hörn	0	-0,08

5 Resultat och analys

5.1 Livscykelutvärdering av isoleringsmaterial för väggar

I Figur 5.1 och Figur 5.2 redovisas GWP värden för de olika väggmaterialen. Aerogel och VIP som är superisolerande, skiljer sig avsevärt från de andra materialen i produktionsfasen. De höga värdena på de superisolerande materialen innebär att de släpper ut mest koldioxidekvivalenter i produktionsfasen. Materialet aerogel finns det enbart information om under produktionsfasen. VIP skiljer sig även från alla andra material i avfallsfasen. De låga värdena på VIP i avfallsfasen betyder att materialet till en stor del är återvinningsbart. För att få en bättre bild hur de andra materialen förhåller sig till varandra har Aerogel och VIP tagits bort i Figur 5.2.



Figur 5.1 GWP-värde för väggmaterial med värmeisoleringsförmågan 1 m²K/W för 1m² material. Aerogel redovisar endast värden i produktion och installationsfasen. Glasull redovisar inte avfallsfasen.

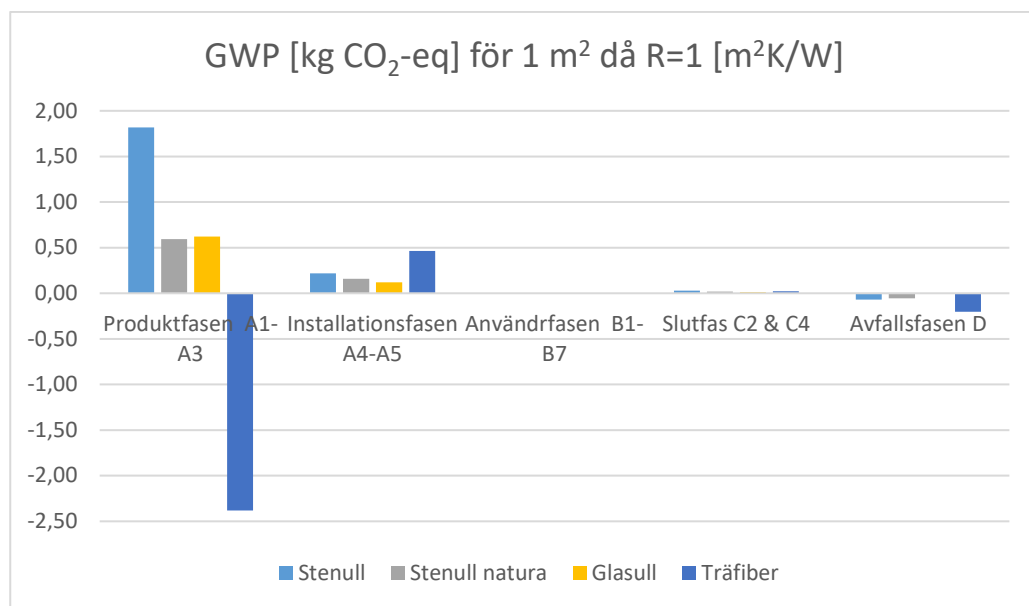
I Figur 5.2 visas det tydligare att träfiber har en negativ påverkan under produktionsfasen vilket innebär att det binder upp koldioxidekvivalenter under tillverkning. Stenull Natura och glasull har låga värden vilket innebär att det släpper ut en mindre del koldioxid under produktionsfasen.

Installationsfasen är svårare att jämföra materialen i. Detta på grund av att alla tillverkare använder sig av olika mätvärden. Figur 5.2 visar att träfiber har högst värden i installationsfasen vilket betyder att materialet släpper ut mest koldioxidekvivalenter under transport och installation.

I användarfasen är alla materialen 0 då isoleringsmaterial inte producerar eller tar upp växthusgaser under användarfasen. För att kunna göra en rättvis bedömning har endast kategori C2 och C4 gjorts i slutfasen så att en jämförelse mellan de fyra materialen stenull, stenull Natura, glasull och träfiber kan göras, se Figur 5.2.

I avfallsfasen är träfiber mest återvinningsbar men även stenull och stenull Natura går att återvinna till viss del. För glasull finns det ingen indata.

I Bilaga A visas de övriga kategorierna för klimatpåverkan: OPD, AP, EP, POCP, ADPM, ADPM, resursanvändning: TPE, TRPE, SM RSF, NRSF, W samt för farligt avfall: HW, NHW, RW. Glasull och stenull Natura ligger väldigt nära varandra i koldioxidutsläpp under sin livscykel. Med hjälp av de andra utsläppsdiagrammen kan det konstateras att stenull Natura påverkar klimatet mindre under sin livstid än vad glasull gör.



Figur 5.2 GWP- värden för: stenull, Stenull Natura, glasull samt träfiber. Notera att information om glasull i avfallsfasen inte finns tillgänglig och är därför noll.

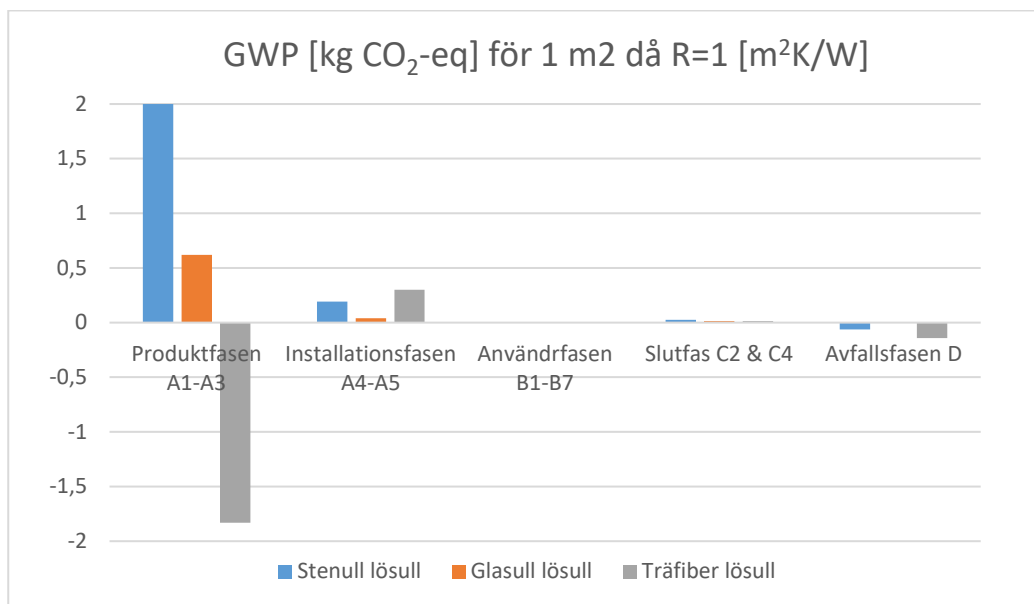
5.2 Livscykelutvärdering av isoleringsmaterial för vindsbjälklag

Figur 5.3 visar att träfiber har ett negativt värde under produktionsfasen vilket innebär att materialet binder upp koldioxidekvivalenter. Stenull och glasull har ett positivt värde vilket betyder att dessa material istället släpper ut koldioxid under tillverkningen. Under installationsfasen måste en även här vara försiktig vid jämförelser då tillverkarna använder sig av olika mätvärden. Enligt Figur 5.3 släpper träfiber ut mest

koldioxidekvivalenter i transport och installation. Glasull släpper ut minst koldioxidekvivalenter under transport och installation.

I användningsfasen är även här alla materialen noll då isolering inte producerar eller tar upp växthusgaser under användningsfasen. I slutfasen har enbart C2 och C4 jämförts då det inte finns data för alla material i C1 och C3. Här ligger alla material på ungefär samma utsläpp. Under avfallsfasen är träfiber det material som går att återvinna mest. Glasull har värdet noll då det inte finns någon indata för detta material i avfallsfasen.

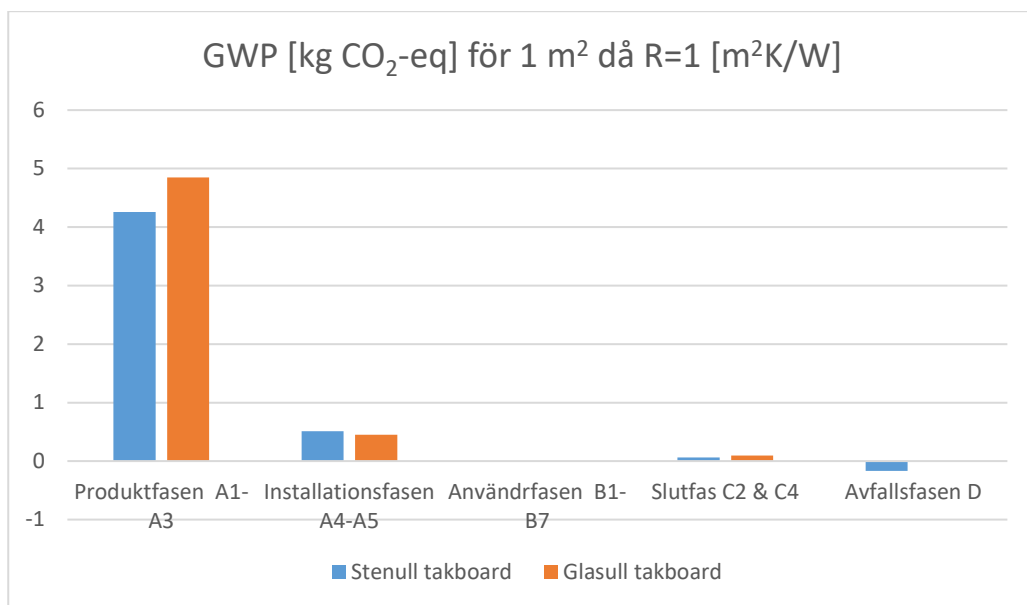
I Bilaga B visas de övriga kategorierna för klimatpåverkan: OPD, AP, EP, POCP, ADPM, ADPM, resursanvändning: TPE, TRPE, SM RSF, NRSF, W samt för farligt avfall: HW, NHW, RW.



Figur 5.3 GWP-värde för lösull. Det saknas information om glasull i avfallsfasen och därför är den noll.

5.3 Livscykelutvärdering takskivor

För takskivor visas det i Figur 5.4 att stenull och glasulls takskivor ligger varandra nära i värdena under alla faser. Jämförs materialen i de andra kategorierna, se bilaga C är glasulls påverkan på miljön betydligt större. Notera dock att indata saknas för glasull i avfallsfasen.



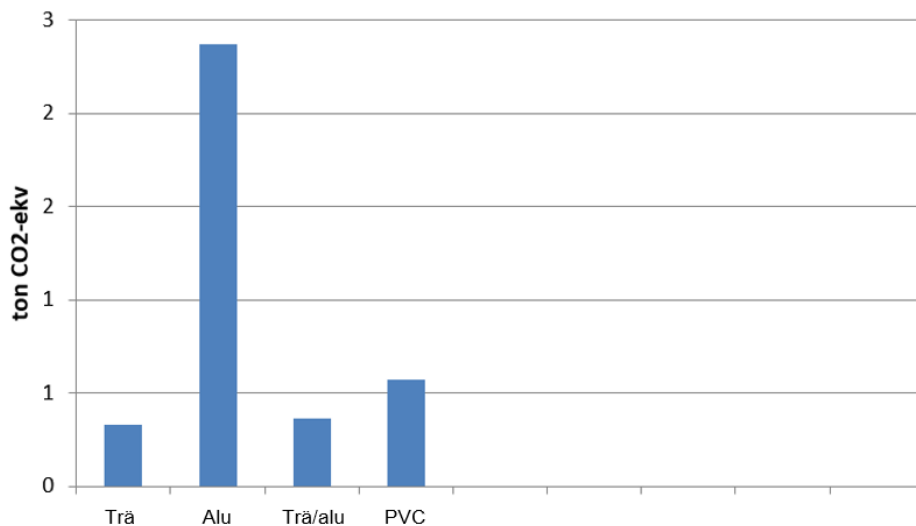
Figur 5.4 GWP-värde för takboards. Det saknas information om glasull i avfallsfasen och därför är den noll.

5.4 Livscykelutvärdering av fönsterkarmar och bågar

De olika fönstertyperna redovisas i Figur 5.5. Resultaten i diagrammet visas i GWP-värde även kallat klimatpåverkan. Den fönsterkarm och båge som släpper ut minst koldioxidekvivalenter under sin livscykel är träfönstret och i närheten finns trä/alu-fönstret. I Figur 5.6 visas även en dominansanalys av fönsterna vilket visar hur mycket koldioxidekvivalenter varje process avger.

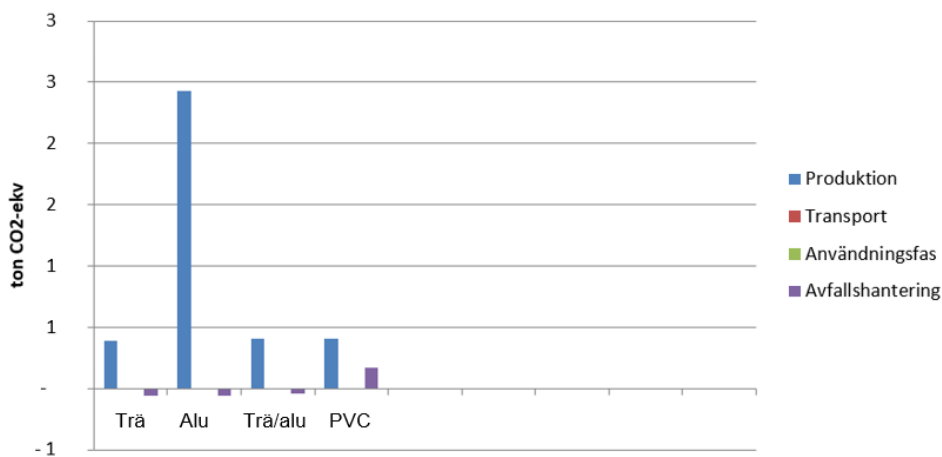
Ur ett energiperspektiv väljs fönster som har lägst värmetransportförmåga alltså lägst U-värde. I kapitel 2.4.1, Tabell 2.2 väljs det trä- och trä/aluminium-fönster som har lägst U-värde vilket är Nordiska fönsters produkter som har ett U-värde på 0.8 W/m²K på trä samt 0.7 W/m²K på trä/aluminium. Då U-värdet för trä/aluminium är bättre än U-värdet för trä väljs trä/aluminium för vidare undersökning i IDA ICE.

Klimatpåverkan jämfört med referensfallet



Figur 5.5 Bilden visar ett diagram från Renobuild där olika fönsterkarmar och bågar jämförs. Jämförelsen går utefter hur mycket koldioxidekvivalenter de olika materialen släpper ut under en livscykel.

Dominansanalys klimatpåverkan



Figur 5.6 Bilden visar ett diagram från Renobuild där olika fönsterkarmar och bågar jämförs. Jämförelsen visar hur mycket koldioxidekvivalenter som släpps ut under produktion och avfallshantering. Transport är noll pga. att utgångspunkten är att alla fönstertillverkare finns i Sverige på ungefär lika långt avstånd. Användningsfasen är också noll då fönsterna ej binder eller avger koldioxidekvivalenter väl på plats.

5.5 Isolerings tjocklek

I Tabell 5.1 visas tjockleken på olika skikten: väggar, massiva taket samt vindsbjälklaget med och utan tilläggsisolering. Tjockleken på tilläggsisoleringen som läggs till på väggar och det massiva taket har gjorts på utsidan av klimatskalet. Den tillkommande tjockleken på isolering i vinden har lagts på vindsbjälklaget och inte på utsidan av klimatskalet. Tjocklekarna visar inte tjockleken för den slutgiltiga väggen då fuktskydd och val av ny fasad behövs läggas till. Tjocklekarna räknas ut med formlerna:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{tot} + R_{se}}$$

Där d är tjockleken i meter. Tjockleken räknas sedan ut enligt Ekvation 1.

$$d_{tillaggs} = \lambda_{tillaggs} \left(\frac{1}{U_{ny}} - \frac{1}{U_{befintlig}} \right) \quad (1)$$

Tabell 5.1 visar hur tilläggsisoleringen påverkar tjockleken på väggen. Fuktskydd och ny fasad är inte medräknat.

Byggnadsdel	Tjocklek på befintlig Byggnadsdel [m]	Befintligt U-värde [W/m ² K]	Nytt U-värde [W/m ² K]	Material	Minsta tjocklek på isolering för nytt U-värde [m]	Total tjocklek på ny byggnadsdel [m]
Väggar 60-tal	0.41	0.4	0.18	Stenull	0.101	0.511
				Stenull Natura	0.111	0.522
				Glasull	0.101	0.511
				Vacuum	0.021	0.431
				Aerogel	0.046	0.456
				Träfiber	0.116	0.526
Väggar 80-tal	0.50	0.2	0,18	Stenull	0.018	0.518
				Stenull Natura	0.020	0.520
				Glasull	0.018	0.518
				Vacuum	0.004	0.504
				Aerogel	0.008	0.508
				Träfiber	0.021	0.521
Massivt tak	0.2	3.21	0.13	Stenull	0.266	0.466
				Glasull	0.244	0,244
Vindsbjälklag	0.428	0.13	0.1	Stenull lösull	0.095	0,095
				Glasull lösull	0.097	0.525
				Träfiber lösull	0.088	0,088

5.6 Energianvändning

Tabell 5.2 visar hur mycket påverkan varje enskild förbättring kan ge. Indikator 1 i Miljöbyggnad har använts för att få fram U_{medel} -värde för varje byggnadsdel. BBR:s allmänna råd har även använts i detta arbete som en kontroll så ingen del av byggnaden har orimliga värden. Vad det högsta U-värdet får vara för varje enskild byggnadsdel enligt BBR vid renovering visas i Figur 2.2.

Tabell 5.2 Visar värden från olika byggnadsdelars förbättringar som simulerats i IDA ICE.

IDA ICE simulering	Energianvändning [kWh]	Energianvändning minskning [%]	U_{medel} -värdet [W/m ² K]
Befintlig byggnad	480 927	0	0.954
Förbättringar byggnadsdel			
Väggar	331 672	31.0	0.603
Tak	219 399	54.4	0.343
Fönster 3-glas	475 843	1.1	0.929
Dörrar	479 039	0.4	0.950
Förbättringar hel konstruktion			
Förbättrat klimatskal	175 115	63.5	0.224
Förbättrat klimatskal och installationer	113 973	76.3	0.221

En simulering för dynamiska 4-glas har även gjorts. Detta har dock inte kunnat appliceras i IDA ICE 4.8 med de andra ändringarna, utan gjorts separat i ESBO. Simuleringen är gjord för tre identiska rum där ett rum har ett fönster som är av samma typ som finns i den befintliga byggnaden, alltså ett 2-glasfönster. Det andra rummet har ett 3-glasfönster som liknar fönstret från tillverkaren Nordiska fönster i Tabell 2.2. 3-glasfönstret har även en markisolette som solskydd, se Figur 5.7. Det tredje rummet har ett dynamiskt 4-glas fönster från Chromogenics som har en transmittans på 65 % i sitt ljusaste läge. Det dynamiska 4-glasen har ett U_g -värde på 0.38 W/m²K och ett g-systemvärde på 0.097. Resultaten visas i Tabell 5.3.

Tabell 5.3 visar energianvändningen för ett exempelrum där olika fönster undersöks.

ESBO simulering	Uppvärmning [kWh]	Kylning [kWh]	Total Energianvändning [kWh]	Energianvändning minskning [%]
2-glasfönster	177	203	488	0
3-glasfönster	175	75	358	26.64
4-glasfönster	166	68	342	29.92



Figur 5.7 Bilden visar solskyddet markisolette. Bilden är tagen från programmet ESBO.

5.7 Miljöbyggnad

I detta kapitel visas det hur förändringarna påverkar byggnaden utifrån certifikatet Miljöbyggnad 3.1, nybyggnad. Vid jämförelser finns det tre fall: befintlig byggnad, förbättringar klimatskal samt förbättringar klimatskal och installationer. Målet är att uppnå nivå guld på vardera indikator.

5.7.1 Indikator 1 Värmeeffektbehov

Tabell 5.5 visar resultaten från indikator 1 för de olika stegen av förbättringar i byggnaden och Tabell 5.4 visar betygskraven för varje nivå, Resultatet visar tydligt att förbättringar av klimatskalet har en stor inverkan på betygsnivån för byggnaden. För fullständig ifylld indikator för varje fall se bilaga D. Köldbryggorna i befintliga byggnaden baserar sig på IDA ICE värden, för de förbättrade fallen grundar köldbryggorna på ett schablonvärde på 30 % som Miljöbyggnad 3.1 anger när köldbryggorna inte är definierade.

Tabell 5.4 visar betygskriterierna för värmeeffektbehovet i indikator 1. Enhet [W/m^2 , A_{om}].

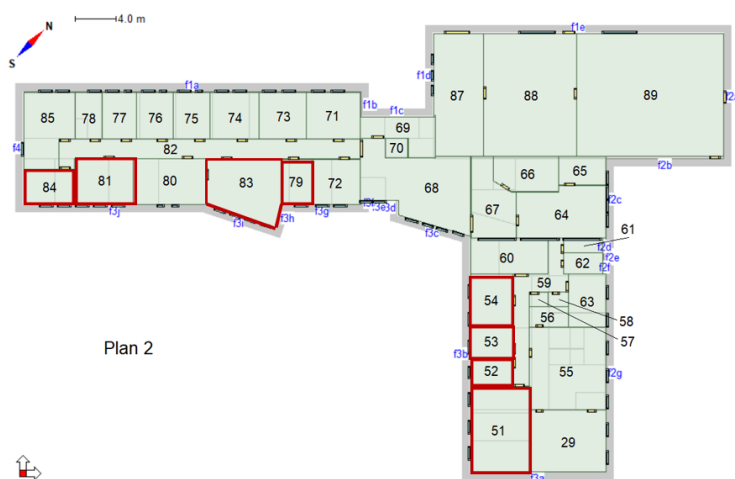
Brons	Silver	Guld
27,0	21,6	16,2

Tabell 5.5 Visar resultatet från indikator 1.

Fall	Värmeeffektbehov [W/m^2 , A_{om}]	Betygsnivå
Befintlig byggnad	32,9	Ej brons
Förbättringar klimatskal	13,7	Guld
Förbättringar klimatskal och installationer	10,9	Guld

5.7.2 Indikator 2 Solvärmelast

Indikator två handlar om solvärmelast i kritiska rum. Kritiska rummen är de kontorsrum som ligger på andra våningen mot innegården då dessa fönster är från sydost till sydväst där solen har mest påverkan. Se Figur 5.7 för att se var zonerna ligger. G-värdet för solskydd räknas ut med ESBO och redovisas i Tabell 5.6. Eftersom samma fönster och solskydd används i förbättringar av klimatskal samt förbättringar av klimatskal och installationer redovisas endast ett av de fallen i Tabell 5.7 som visar solvärmelasten för varje zon. Även en undersökning med dynamiska 4-glasen från Chromogenics har gjorts i Tabell 5.7. Resultaten för de mest kritiska rummet för de olika fallen redovisas i Tabell 5.9. Betygskriterierna visas i Tabell 5.8



Figur 5.8 Kritiska zoner är markerade rött på plan 2.

SVL beräkningar för de olika fallen:

$$SVL = \frac{800 \cdot g_{sys} \cdot A_{glas}}{A_{rum}}$$

$$g_{sys} = g_{fönster} \cdot g_{solskydd} = 0,51 \cdot 0,078 = 0,04$$

Tabell 5.6 visar g-värdena för beräkning av SVL.

Fönstretyp	G-värde fönster	G-värde solskydd	G-värde system
2-glas Befintlig byggnad	0,59	0,92	0,54
3-glas Förbättringar klimatskal och installationer	0,51	0,078	0,04
4 glas dynamiska fönster	-	-	0,097

Tabell 5.7 Visar varje kritisk zon på ovanvåningen av byggnaden och vilken SVL som fås fram. SVL är samma i respektive zoner för det tredje fallet "förbättringar klimatskal och installationer" och därför visas ej detta i tabellen.

Zon	Area rum [m ²]	Area glas [m ²]	SVL [W/m ²] befintlig byggnad	SVL [W/m ²] förbättringar 3-glas	SVL [W/m ²] förbättringar 4-glas
84	16,95	2,42	61,68	4,57	11,08
81	25,53	3,63	61,42	4,55	11,03
83	40,86	6,28	66,40	4,92	11,93
79	13,54	1,21	38,61	2,86	6,93
54	20,68	2,42	50,55	3,74	9,08
53	12,83	1,21	40,74	3,02	7,32
52	11,68	1,21	44,75	3,32	8,03
51	47,61	3,63	32,94	2,44	5,92

Tabell 5.8 Betygskriterierna för indikator 2. Enhet [W/m²].

Brons	Silver	Guld
≤ 40	≤ 32	≤ 22

Tabell 5.9 visar den värsta utsatta zonen och vilken betygsnivå som uppnås.

Fall	Värsta zonen	SVL [W/m ²]	Betygsnivå
2-glas befintlig byggnad	83	66,40	Ej brons
3-glas förbättringar klimatskal och installationer	83	4,92	Guld
4-glas dynamiska fönster	83	11,93	Guld

Resultatet visar att förbättringarna med 3-glas och 4-glas har stor påverkan på solvärmelasten. Det visar hur utvändiga solskydd kan sänka g-värdet jämfört med det befintliga fallet som har en solfilm på insidan.

5.7.3 Indikator 3 Energianvändning

Betygskriterierna för indikator 3 grundar sig på BBR:S energikrav som är 70 kWh/m² A_{temp} och år för lokaler (Boverket, 2020). Kraven för varje betygsnivå har beräknats i Tabell 5.10 då dessa är en procentdel av BBR:s krav. Det krävs att energianvändningen blir verifierad med mätningar en tid efter byggnadens förbättringar är gjorda i verkligheten.

Eftersom det är två uppvärmningssystem delas uppvärmningen och även tappvarmvattnet på hälften för att viktningsfaktorerna ska ha samma inverkan. Det är Alexandra Da Fonseca och Diana Krons arbete som bestämt uppvärmningssystem och lagt in värden i IDA ICE.

Beräkning av primärenergitalet visas i ekvation (2). Uppnådd betygsnivån visas i Tabell 5.12.

$$EP_{Pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{uppv,i} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i}}{F_{geo}} \right) \cdot VF_i}{A_{temp}} \quad (2)$$

Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

Tabell 5.10 visar betygskriterierna för indikator 3. Enhet [kW/m²A_{temp}]

Brons	Silver	Guld
≤ 70	≤ 49 (70% av BBR)	≤ 42 (60% av BBR)

Tabell 5.11 visar värdena för beräkning av och resultatet för primärenergitalet.

Värden enligt BBR	
F _{geo}	0,9
VF _{fjärr}	0,7
VF _{el}	1,8
Befintlig byggnad	
Energi	Värde från IDA ICE [kWh/år]
Eupp(fjärr)	201 318
Eupp(el)	201 318
Ekyl	2486
Etapp(fjärr)	1791
Etapp(el)	1791
Efast	72 223
Förbättring klimatskal	
Eupp(fjärr)	48 427
Eupp(el)	48 427
Ekyl	2460
Etapp(fjärr)	1791
Etapp(el)	1791
Efast	72 219
Förbättring klimatskal och installationer	
Eupp(fjärr)	93 880
Eupp(el)	0
Ekyl	1674
Etapp(fjärr)	3582
Etapp(el)	0
Efast	14 837

Tabell 5.12 visar resultatet för indikator 3 och vilken betygsnivå som uppnåtts. Enhet

Fall	Primärenergital [kWh/m² A_{temp} och år]	Betygsnivå
Befintlig byggnad	338	Ej brons
Förbättring klimatskalet	132	Ej brons
Förbättring klimatskalet och installationer	42	Guld

Resultatet visar att primärenergitalet är väldigt högt i det befintliga fallet. Klimatskalsförbättringarna bidrar till en minskning på över 200 kWh/m² A_{temp} och år men det är fortfarande en stor bit kvar till BBR:s krav och ännu längre bit till Miljöbyggnad 3.1 nivå guld när endast klimatskalet förbättras. När alla förbättringar är medberäknade nås nivå guld. Analysen som går att göra ur detta resultat är att alla förbättringar behövs göras för att uppnå BBR:s krav och för att nå Miljöbyggnad 3.1, nybyggnad nivå guld.

5.7.4 Indikator 9 Termiskt klimat vinter

I indikatorn för termiskt klimat vinter bedöms nivån här utifrån PPD, Predicted percentage dissatisfied, som fås med simuleringar från IDA ICE. PPD är den procentandel som förväntas vara missnöjda med rummets termiska klimat. Jämförelsen görs med byggnadens mest kritiska rum under vintern som är redovisade i Tabell 5.14. Betygskriterierna finns i Tabell 5.13. I Tabell 5.14 visas det att PPD höjs, alltså blir sämre vid förbättringar. Det beror på att IDA ICE har beräknat med Fangers komfortekvation. Fangers komfortekvation är en kombination av hur inomhusmiljön upplevs beroende på lufttemperatur, luftfuktighet, luftfuktighet, lufthastighet, omgivande ytors temperatur och varierande klädsel och aktivitet (Dahlblom & Warfvinge, 2013). IDA ICE har således beräknat med fler parametrar än vad miljöbyggnad 3.1 kräver.

Tabell 5.13 visar betygskriterierna för indikator 9.

Brons	Silver	Guld
PPD ≤ 15 % vid DVUT	PPD ≤ 10 % vid DVUT	Silver + Godkänd enkät eller mätning

Tabell 5.14 visar resultatet och betygsnivån som är uppnådd för indikator 9.

Fall	Zon	PPD i värsta zonen [%]	Betygsnivå
Befintlig byggnad	62	16,74	Ej brons
Förbättring klimatskal	62	16,53	Ej brons
Förbättring klimatskal och installationer	19	17,14	Ej brons

5.7.5 Indikator 10 Termiskt klimat sommar

I indikator för termiskt klimat sommar bedöms nivån här också med PPD-index från IDA ICE fast vid en kritiskt varm och solig dag på sommarhalvåret enligt betygskriterier i Tabell 5.15. Resultaten redovisas i Tabell 5.16.

Tabell 5.15 visar betygskriterierna för indikator 10

Brons	Silver	Guld
PPD ≤ 15 % vid mest kritiska förutsättningar. Förvaltningsrutiner för kontroll av termiskt klimat sommar.	Brons + PPD ≤ 10 % vid mest kritiska förutsättningar.	Silver + Enkät eller mätning

Tabell 5.16 visar resultatet och betygsnivån som är uppnådd för indikator 10.

Fall	Zon	PPD i värsta zonen [%]	Betygsnivå
Befintlig byggnad	83	78,25	Ej brons
Förbättrat klimatskal	83	43,96	Ej brons
Förbättrat klimatskal och installationer	50	11,88	Bron

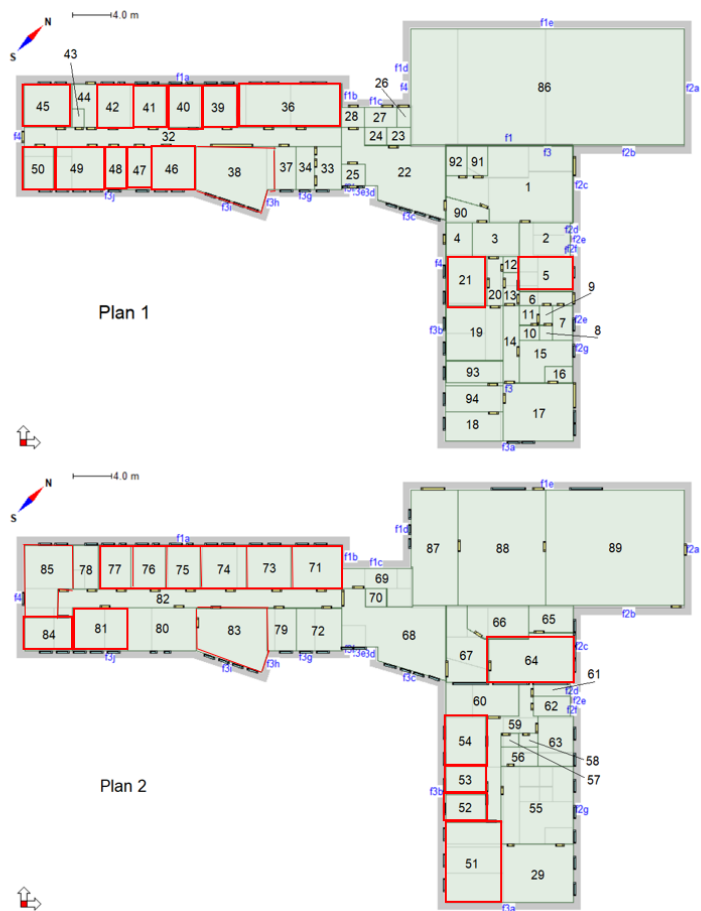
Tabell 5.16 visar att PPD sjunker vid förbättringar. Alltså förväntas en mindre del vara missnöjda med det termiska klimatet under sommaren efter förbättringarna. I indikator 10 nås enbart nivån brons.

5.7.6 Indikator 11 Dagsljus

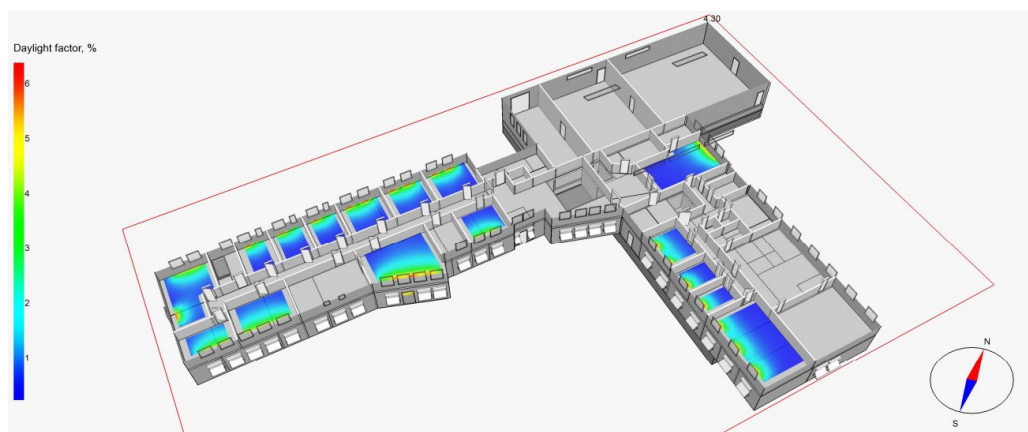
Dagsljusfaktorn DF fås från IDA ICE och redovisas i bilaga E. Det finns en sammanfattning över hur många kritiska zoner som uppnår ett vist betyg i Tabell 5.18 Det är medianvärdet för dagsljusfaktorn som resultatet grundar sig på och endast de kritiska rummen bedöms. Se Figur 5.8 för var de kritiska rummen finns i byggnaden. Betygskriterierna redovisas i och resultatet visas i Tabell 5.19. Figur 5.10 visar hur dagsljusfaktorn har fördelar sig över rummen enligt simulering i IDA ICE med alla förbättringar.

Tabell 5.17 visar betygsriterierna för indikator 11

Bron	Silver	Guld
Alternativ 1 $DF \geq 0,8 \%$ Alternativ 2 $AF \geq 10 \%$ för $a \leq 20^\circ$ Eller $AF \geq 10 + (a - 20) \cdot 0,25$ för $20^\circ < a \leq 45^\circ$ Oavsett alternativ: Förvaltningsrutiner för tillgång till dagsljus på stadigvarande vistelserum.	$Bron + DF \geq 1,0 \%$	$Bron + DF \geq 1,3 \%$



Figur 5.9 de kritiska rummen finns på varje våningsplan är markerade med röd ruta.



Figur 5.10 visar dagsljusfaktorn och hur den är fördelad i rummet. Figuren kommer från IDA ICE när alla förbättringar är gjorda.

Tabell 5.18 visar hur många av de kritiska zonerna uppnår ett visst betyg i miljöbyggnad 3.1.

Fall	Antal underkända zoner	Antal zoner betyg brons	Antal Zoner betyg silver	Antal zoner betyg guld	Totalt antal zoner
Befintlig byggnad	2	13	9	5	29
Förbättringar klimatskal	5	12	8	4	29
Förbättringar klimatskal och installationer	5	13	7	4	29

Tabell 5.19 visar resultatet för indikator 11.

Fall	Zon med värst DF	Läst DF värde [%]	Betygsnivå
Befintlig byggnad	50	0,60	Ej brons
Förbättrat klimatskal	5	0,56	Ej brons
Förbättrat klimatskal och installationer	5	0,55	Ej brons

Resultatet visar att förbättringarna försämrar dagsljusfaktorn. Fönsterna släpper inte längre igenom lika mycket dagsljus som den befintliga byggnaden. Fönsterna har samma LT-värde på 72% så skillnaden kan bero på att de nya fönsterna har solskydd som täcker en del av rutan. Det kan även delvis bero på noggrannheten hos IDA ICE då vissa zoner endas ligger några hundradelar från ett annat betyg. Generellt går det att avläsa att två zoner 5 och 50 har problem oavsett fall. Även zonerna 51, 64, 53 behöver kontrolleras då de ligger under godkänd nivå i de förbättrande fallen.

En större fönsterarea eller högre LT-värden hade behövts för att uppnå åtminstone brons i de två zonerna 5 och 50. För att uppnå guld enligt miljöbyggnad hade en stor del av fönsternas storlek behövts ändrats då LT-värdet redan är relativt högt, 72%. Eventuellt

hade en lösning som presenteras i litteraturstudien i kapitel 2.4.1.3 som är en teknik som leder in dagsljus i byggnaden. Dock är det inget som vidare undersök. Det är även inte känt till hur denna teknik appliceras i IDA ICE och därav hur Miljöbyggnad.3.1 kan räkna med detta tillskott.

6 Diskussion och slutsats

6.1 Livscykelperspektiv

Det är svårt att jämföra material då det inte alltid finns likvärdig information. EPD:er är till för att göra jämförelser lättare men som detta arbete visar, är det svårt att jämföra material då tillverkarna kan utesluta vissa kategorier.

När det kommer till jämförelse av väggmaterial är det en tydlig skillnad mellan de superisolerande materialen och de andra materialen. Det går inte att motivera användning av superisolerande material i dagsläget då miljöpåverkan är avsevärt mycket större för dessa material. Då superisolerande material kan vara fördelaktigt är om konstruktionen eller bevarande av kulturhistoriken kräver tunnare väggar. Det utesluter inte att dessa material kommer vara en del av marknaden i framtiden för isoleringsmaterial då det forskas mycket kring aerogel och VIP i dagsläget. VIP är även ett känsligt material för punktering.

Träfiber som är ett biobaserat material har i många fall lägst klimatpåverkan av de jämförda materialen. Träfiber är det mest klimatsmarta valet men den bredare tjockleken som krävs för att få samma U-värde gör att det inte alltid är ett alternativ. Tjockare väggar kan även leda till sekundära effekter som tex att behöva förlänga avrinningsplåtar, flytta ut fönster och förlänga takfoten. Det är även viktigt att ta hänsyn till att träfibermaterialet är känsligt mot fukt. Enligt vår undersökning är stenull Natura som kom ut i mars 2021 som miljövänlig stenull det bättre alternativet när det kommer till vanliga isolermaterial. De vanliga materialen blir mer och mer miljövänliga och är ett bra alternativ om träfiber skulle kräva en allt för bred tjocklek på väggarna.

Något som märktes tydligt under besöket på plats, var att vindens isolerskivor var skadade och dåligt formade vid installationsrör. Därför kan lösull vara ett bättre alternativ men skivor fungerar också bra om de läggs i omlott i två eller fler skikt samt anpassas efter installationsrör. I detta arbete har vidare undersökningar för tilläggsisolering på vind gjorts med lösull. Det går dock också att använda skivorna som används i undersökningen av väggmaterial.

Vid undersökning av lösull ur ett livscykelperspektiv påverkar materialet träfiber minst klimatet. Träfiber har högre värden i installationsfasen. Men det beror på att tillverkaren definierar transporter olika vilket gör att dessa siffror inte är hela sanningen. Därför blir slutsatsen att det bästa alternativet är träfiber ur ett livscykelperspektiv. Här är det också viktigt att ta hänsyn till att träfibermaterialet är känsligt mot fukt. Glasull är det materialet som påverkar klimatet mest jämförelsevis med stenull och träfiber.

Vid undersökning av takskivor an isolermaterial fanns inte träfiber som alternativ men här är det samma tydliga skillnad som i de andra undersökningarna. Att stenull påverkar klimatet mindre än vad glasull gör.

Det är tydligt att biobaserade material har mindre klimatpåverkan men det finns en viss felkälla med att glasull inte har information om hur mycket av materialet som återvinns i EPD:er. Efter granskningarna kan detta arbete rekommendera träfiber som tilläggsisolering där det finns möjlighet att använda materialet. Det kan vara av intresse att även undersöka andra biobaserade materials miljöpåverkan mer ingående för att se om det kan finnas ett bättre alternativ till träfiber. Det är tydligt att det är produktionsfasen som har störst påverkan på miljön så det ligger till stor del hos tillverkarna för att göra materialen hållbara och för konsumenten att fråga om hållbara val. Det kommer vara en intressant utveckling hur de superisolerande materialen påverkar framtida byggnader och om dessa kan bli mer hållbara. Då kommer det finnas andra möjligheter med tunnare väggar vid tilläggsisolering.

I granskningen av fönster ur ett livscykelperspektiv visade det sig att fönsterkarmar och bågar i trä är det som påverkar klimatet minst. I närheten ligger även träfönstret som är klätt i aluminium. Anledningen till att trä/aluminium-fönster valdes istället för träfönster är att trä/aluminium-fönstret har ett lägre U-värde enligt undersökningen i litteraturstudien, vilket väger tyngre. Fönster som har en karm och båge av trä och aluminium kräver också mindre eller inget underhåll under sin livstid.

6.2 Simuleringar

Undersökningen av förbättringarna med IDA ICE visar tydligt att energianvändningen minskar. Det som påverkar energianvändningen mest under förbättring av de olika byggdelarna är tilläggsisoleringen på taken som bidrar med en förbättring på 54.4%. Detta kan bero på det väldigt dåligt isolerade massiva taket som även har en stor yta. Man ser även att U_{medel} -värdet minskas drastiskt efter förbättringen av tak från 0.954 W/m²K till 0.343 W/m²K. Då tilläggsisolering läggs på utsidan av det massiva taket kommer de köldbryggor, från innerväggar som fotograferades i samband med besök på plats, Figur 3.8, att minska. Att tilläggsisolera väggar ger också en större förbättring på 31.0 %. Då tilläggsisolering läggs på utsidan kommer detta också hjälpa till att förbättra alla köldbryggor från bjälklag och innerväggar, Figur 3.7, som fotograferades under besök på plats. Dörrarna ligger på som förväntat en väldigt låg procent på 0.4% förbättring. Med alla förbättringar av klimatskalet minskade energianvändningen med 63.5 %. Vid förbättring av både klimatskal och installationer så minskar energianvändningen ytterligare till 76.3 % mindre än det befintliga fallet.

Det gjordes även simuleringar av ett exempelrum i ESBO där 2-glasfönster med solfilm, 3-glasfönster med markisolette samt ett dynamiskt 4-glasfönster jämfördes. I jämförelsen mellan 2-glas med solfilm och 3-glas som har en markisolette ser man tydligt att kyleffekten sjunker drastiskt med 3-glasfönstret. Detta beror dels på att 3-glas har ett bättre U-värde, dels för att markisoletten som sitter på utsidan bidrar till att solvärmen reflekteras bort innan värmen kommit in i byggnaden. Till skillnad från solfilmen på 2-glasfönstren som sitter på insidan av fönstret. Därför behöver inte byggnaden kylas lika mycket med 3-glasfönstret och markisoletten. Detta är till stor del anledningen till den totala minskningen på 26.64%. De dynamiska fönsterna ger en förbättring på 29.92 % från 2-glasfönsterna vilket är bättre än 3-glas med markisolette.

En annan fördel med de dynamiska fönsterna är att man inte behöver påverka fasaden med tilläggande solskydd. Det minskar även underhåll och kan användas vid hårda vindar.

6.3 Uppfyllelser av kriterier enligt Miljöbyggnad

Att förbättra klimatskalet gör att indikator 1 värmeeffektbehov kan gå från att inte vara godkänd till att uppnå nivå guld. Detta beror mycket på att byggnaden har en högre värmetransmittans. U_{medel} -värdet enligt IDA ICE, se Tabell 5.2, har sjunkit från 0,95 W/m²K till 0,22 W/m²K vilket har en stor påverkan på värmeeffektbehovet. Även köldbryggorna minskas vid tilläggsisolering. Dock är köldbryggorna ett schablonvärde så för att få mer exakta värden skulle en noggrannare beräkning behöva göras. Med förbättrade installationer och klimatskal fås ett ännu lägre värde vilket påvisar att ett bättre resultat kan fås genom att göra båda förbättringarna.

Solvärmelasten i indikator 2 är hög för de kritiska rummen men sjunker drastiskt med förbättrade solskydd. Det visar hur det utvändiga solskyddet ger bättre skydd mot solvärmelast än med det invändiga som redan fanns i den befintliga byggnaden. I tabell Tabell 5.9 visas det även att de dynamiska 4-glasfönsterna uppnår samma nivå som 3-glas med markisolette.

Indikator 3 som är energianvändning fick en minskning på 61% vid förbättring av klimatskalet, vilket ligger på ungefär samma som vår IDA ICE simulering. Ytterligare 27% minskar energianvändningen när installationerna också förbättras. Det ger en total minskning på 88 % från det befintliga fallet utan några förbättringar. Detta är en större skillnad än vad IDA ICE har räknat med som har en total minskning efter förbättring av klimatskal och installationer på 76.3 %. Trots dessa förbättringar så är det på gränsen till att nivå guld uppnås vilket kan göra att vid mätning kan resultatet bli nivå silver. Mer tilläggsisolering kan bidra till bättre primärenergital.

I Indikator 9, termiskt klimat vinter så blir värdena sämre efter förbättringarna. Nivån som uppnås är ej brons. Vad detta kan bero på är okänt men kan bero på att IDA använder sig av Fangers Comfortindex som beräknar med fler parametrar utöver termiskt klimat. En misstanke är att luften blir för torr och att det är därför den förväntade andelen missnöjda ökar. Detta arbete går inte djupare in till varför då miljöbyggnad endast ska vara som en kontroll för hur förbättringarna påverkar den befintliga byggnaden.

Värdena i termiskt klimat sommar, indikator 10, blir bättre efter förbättringarna. Dock uppnår vi ej guld i denna indikator heller. Brons uppnås när både klimatskal och installationer förbättras. Orsaken till detta är förmodligen samma som indikator 9.

Indikator 11, dagsljus visar behovet av mer ljusinsläpp i kritiska rum. För att uppnå guld skulle det definitivt behövas öka fönsterstorleken vilket förändrar byggnadens utseende som vidare kan kräva tillåtelse från kommunens byggnadsnämnd. Detta blir då också en större renovering som kommer kräva mer resurser.

Skulle byggnaden utvärderas efter de krav för Miljöbyggnad 3.1 renovering istället för nybyggnad hade ändå inte betygsnivåerna för indikator 9, 10 och 11 uppnått nivå guld.

6.4 Avslutningsvis

Det finns många intressanta material och komponenter idag men byggbranschen är konservativ och det tar tid innan något kommer ut på marknaden och börjar användas mer konsekvent. Men är det något av materialen som vi tycker är intressanta så är det aerogel som fått stöd från EU att utvecklas. Aerogel utvecklas i flera olika former och inte bara i klassiska isoleringsskivor utan utvecklas även som värmeisolerande färg. Aerogelen används inte bara i byggbranschen utan kan användas i flera branscher vilket gör att utvecklingen kan gå snabbare i den konservativa byggbranschen. När det gäller fönster så tror vi att det kommer bli vanligare med dynamiska 4-glas. Då byggnader blir allt tätare vid renovering och nybyggnation samt byggnader blir varmare på sommaren på grund av extremtemperaturer från klimatförändringar, kan det önskas ha fönster som anpassar solinstrålningen automatiskt. Det är värt att ha utvändiga solskydd eller alternativt för att inte ändra utseendet, dynamiska fönster.

När det kommer till renovering och tilläggsisolering så är det en balans mellan arkitektur, energianvändning och miljömässig hållbarhet. Biobaserat isoleringsmaterial är klimat smartare men kräver tjockare lager på byggdelen medan de superisolerande materialen kan göras tunnare.

Vid förbättring av klimatskal kommer byggnaden bli mer tät. Det kan då vara värt att undersöka om den befintliga ventilationen efter förbättring räcker till för att byggnaden och människan ska må bra samt för att eventuellt undvika problem som till exempel fuktskador.

För Trelleborg Energi AB lokaler är slutsatsen att båda förbättringarna måste göras för att sänka energianvändningen men även för att spara på miljön. Särskilt är primärenergitalet alldeles för högt för befintliga byggnaden och blir inte under rekommendationerna från BBR förrän båda förbättringarna är genomförda. Det blir även svårt för byggnaden att uppnå Miljöbyggnad 3.1. nybyggnad betygsnivå guld med de förslagna förbättringarna. För indikatorerna 1, 2 och 3 som är energiområdet i Miljöbyggnad 3.1 har det uppnåtts betyg guld för nybyggnad. Svårare har det varit för indikatorerna 9, 10 och 11 som handlar om inomhusmiljön. Det kan behövas en vidare undersökning för att ta reda på anledningarna till dessa underkända resultat.

Trots detta har byggnaden goda förutsättningar till att miljöförbättras i klimatskalet. Vi har satt kraven högt och med en ytterligare utredning kan byggnaden förbättras ännu mer. Fönsterstorleken kan förstoras för att uppnå kraven på dagsljus eller eventuellt använda den smarta tekniken för att leda in dagsljus i byggnaden från kapitel 2.4.1.3. Man kan även vidare undersöka varför PPD är så högt under termiskt klimat för Fangers Comfortindex. Då kan det vara möjligt att ha en ännu högre standard enligt Miljöbyggnad 3.1 för nybyggnad på detta renoveringsförslag.

6.5 Felkällor

Arbetet har utförts under Corona pandemin bidragit till fler felkällor, eftersom antaganden har behövts göra efter ritning och foton tagna från endast ett besök och inte kunnat bekräftats eller kontrollmätas.

Gällande antagande av material och komponenter i den befintliga byggnaden har alla material och komponenter antagits att vara i nyskick. Detta för att det är svårt att besluta hur mycket varje enskilt material eller komponent har försämrats med tiden. Den befintliga byggnaden är förmodligen i sämre skick än vad som skrivs i dokumentet.

3-glas fönsterna som testas i IDA ICE har inte exakt samma värden som fönstret från fönstertillverkaren Nordiska fönster, utan har konstruerats för att likna fönstertillverkarens fönster så mycket som möjligt. Det som skiljer sig är U-värdet som ligger på $0.61 \text{ W/m}^2\text{K}$ i IDA ICE medan det fönster som är taget från Nordiska fönster har ett U-värde på $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Detta var något som försöktes uppnå men ej lyckades.

Vid jämförelse av installationsfasen ur ett livscykelperspektiv finns det felkällor då tillverkarna räknar på olika sätt. Detta gör det svårt att jämföra de olika materialen mot varandra.

Referenser

Adl-Zarrabi, B. & Johansson, P. (2017). *Superisoleringsmaterial i byggnader*, Stockholm: Energimyndigheten.

Arfvidsson, J., Harderup, L.-E. & Samuelson, I. (2017). *Fukthandbok*. 4 red. Stockholm, ISBN 9789173338233: AB Svensk Byggtjänst.

Aspen aerogels INC, (2013). *Paroc arbetsanvisningar-monteringsanvisningar*. <https://www.paroc.se/hjalpmedel/arbetsanvisningar-monteringsanvisningar> [Använd 2021-04-12].

Betongindustri (2021). *Tekniska egenskaper*. https://www.betongindustri.se/sv/tekniska-egenskaper?fbclid=IwAR3UMUd06rTMH_btwsfVn10kkN7nxehLHgNLmqYVHIP5JPcr9soruSoKxjI [Använd 2021-05-17].

Björk, F. (2015). *fuktcentrum.lth.se*. <https://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg-och-hjalpmedel/materialegenskaper/angaende-utlovade-effekter-hos-bestrykningen-termoskydd/> [Använd 2021-04-08].

Bokalders, V. & Block, M. (2014). *Byggekologi*. 3 red. Stockholm, ISBN 9789173336260: Svensk byggtjänst.

Boverket (2018). *Ombyggnad*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/andring-av-byggnader/ombyggnad/> [Använd 2021-04-20].

Boverket (2019a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [Använd 2021-02-12].

Boverket (2019b). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovarudeklaration-for-byggprodukter-epd/> [Använd 2021-14-12].

Boverket (2020). *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna*. BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4 red. Karlskrona: Boverket.

Boverket (2021). Termiskt klimat. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/termiskt-klimat/> [Använd 2021-05-31]

Burström, P. G. & Nilvér, K. (2018). *Byggnadsmaterial*. 3:1., Lund, ISBN 9789144057552. Studentlitteratur AB.

ChromoGenics (2019). *ChromoGenics Dynamic Glass, Tekniskt produktblad*.
<https://www.chromogenics.com/content/uploads/2019/11/chromogenics-dynamic-glass-teknisk-specifikation-se-ver20191119.pdf> [Använd 2021-04-07].

ChromoGenics (2021a). *ChromoGenics*.
<https://www.chromogenics.com/sv/smarta-fonster-smarta-glas/> [Använd 2021-04-07].

ChromoGenics (2021b). *ChromoGenics*.
<https://www.chromogenics.com/sv/fasadglas/>
[Använd 2021-04-07].

Dahlblom, M. & Warfvinge, C. (2013). *Projektering av VVS-installationer*. 1:7. Lund. ISBN 978914405619. Studentlitteratur AB.

Daloc (2021). *Daloc*. <https://www.daloc.se/> [Använd 2021-04-19].

De Buriijn, P. (2008). *Hemp Concretes*, Alnarp, ISBN 9789185911875: SLU Repro.

Derbigum Sverige AB (2020). *Derbigum.com*.
<https://se.derbigum.com/tatskikt/koldioxidabsorberande-tak/> [Använd 2021-04-08].

EAB (2021). *EAB*.
<https://www.eab.se/produkt/entrepazier-glaspartier/#produktbeskrivning>
[Använd 2021-04-19].

EPD International AB (2021). *Environde*.
<https://www.environdec.com/global-network/intl-cooperation> [Använd 2021-04-21].

Ekolution AB (2020). *Hampa+fiber*. <https://www.ekolution.se/hampafiberisolering>
[Använd 2021-04-19].

Elitfönster (2021). *Elitfönster*. <https://www.elitfonster.se/fonster--altandorrar/>
[Använd 2021-04-19].

EPD International AB (2021). *EPD International*.
<https://www.environdec.com/all-about-epds0/create-your-epd> [Använd 2021-04-19].

EPD International AB (2021). *Product Category Rules*.
<https://www.environdec.com/product-category-rules-pcr0/product-category-rules-pcr>
[Använd 2021-04-19].

EQUA (2020a). *IDA Indoor Climate and Energy*.
<https://www.equa.se/se/ida-ice> [Använd 2021-04-19].

EQUA (2020b). *ESBO*.

<https://www.equa.se/se/esbo> [Använd 2021-05-06].

European commission (2020). *A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives*, Bryssel: European commission. [Använd 2021-05-13].

Ganobjak, M., Brunner, S. & Wernery, J., 2020. Aerogel materials for heritage buildings: Materials, properties and case studies. *Journal of Cultural Heritage*, Volym 42, pp. 81-98.

Geijersson, A. & Karlsson, S. (2018). *Optimering av en ytterväggsprodukt*,

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1228186/FULLTEXT01.pdf>:

Linnéuniversitetet, Fakulteten för teknik. [Använd 2021-05-03].

Gelclad.eu (2020). *Gelclad.eu*.

<https://www.gelclad.eu/> [Använd 2021-02-22].

Hunton Fiber AS (2016). *Hunton Nativo Träfiberisolering Handbok*.

https://hunton.se/wp-content/uploads/sites/17/2020/03/Nativo-trafiberisolering-Handbok-1120_SE_TRYKK.pdf [Använd 2021-04-28].

Hunton Fiber AS (2017). *Hunton Vindtät™*.

<https://hunton.se/produkter/vagg/hunton-vindtat/>

[Använd 2021-04-19].

Hunton Fiber AS (2020b). *Hunton Nativo® Träfiberisolering Lösull*.

<https://hunton.se/produkter/vagg/hunton-nativo-trafiberisolering-losull/>

[Använd 2021-04-27].

Hunton Fibre AS (2020a). *Hunton Nativo® Träfiberisolering Skivor*.

<https://hunton.se/produkter/vagg/hunton-nativo-trafiberisolering-skivor/>

[Använd 2021-04-19].

Hunton (2019a). *Hunton*.

<https://hunton.se/referenser/hunton-vindtat-plus-battre-skydd-mot-det-nordiska-klimatet/>

[Använd 2021-04-28].

Hunton (2019b). *Hunton*.

https://hunton.se/produkter/vagg/hunton-nativo-trafiberisolering-skivor/?utm_term=isolering%20tr%C3%A4fiber&utm_campaign=TREFIBERISOLERING&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=6864555919&hsa_cam=849066390&hsa_grp=71524612440&hsa_ad=342443250187&hsa_s

[Använd 2021-04-28].

Isolina Oy (2021). *ISOLINA LINISOLERINGENS EGENSKAPER*.

<http://www.isolina.com/se/isolering.cfm>

[Använd 2021-04-19].

IVL Svenska Miljöinstitutet AB (2020). *Miljövarudeklaration (EPD)*.

<https://www.ivl.se/vart-erbjudande/vara-tjanster/miljovardeklaration-epd.html>

[Använd 2021-04-21].

Johansson, P., Wahlgren, P. & Eriksson, P. (2019). *Field Testing of Interior Super Insulation Materials on a Brick Wall in an Industrial Building*, Göteborg: Chalmers University of Technology.

Jordbruksverket (2021). *Jordbruksverket.se*.

<https://jordbruksverket.se/stod/lantbruk-skogsbruk-och-tradgard/jordbruksmark/gardsstod-och-stodratte/gardsstod/odla-hampa>

[Använd 2021-03-24].

Kingspan Insulation AB (2020). *Kingspan.com*.

<https://www.kingspan.com/se/sv-se/produkter/isolering/optim-r> [Använd 2021-02-18].

Kronfönster (2021). *Kronfönster*.

<https://www.kronfonster.se/fonster/> [Använd 2021-04-19].

Li, X. o.a. (2020). Full Daytime Sub-ambient Radiative Cooling in Commercial-like Paints with High Figure of Merit. *Cell Reports Physical Science*, 1(10).

Malmgren, L., Elfborg, S. & Mjörnell, K. (2015) *A decision support tool for guiding building owners to choose sustainable renovation alternatives in renovation of an apartment building*, ISBP2015, International Symposium on Building Pathology, Porto, Portugal, 2015.

Marie, A. (2016). Det smarta fönstret är färdigt – till slut. *NyTeknik*, 26 05.

<https://www.nyteknik.se/energi/det-smarta-fonstret-ar-fardigt-till-slut-6576471>

[Använd 2021-04-19]

Miljöinstitutet, S. (2015). *Livslängdsdata samt återvinningsscenario för mer transparent och jämförbara livscykelberäkningar för byggnader*, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Nohrstedt, L. (2020). Genomskinliga solceller- en bra eller dålig idé?. *NyTeknik*, 29 09.

Nordiska Fönster, 2021. *Nordiska Fönster*.

https://www.nordiskafonster.se/?gclid=Cj0KCQjw1PSDBhDbARIsAPeTqrfBm9Q87c7Hgall8JnRuhMfNOQ5hmHEJPS8IdN-Xtu7iX_g_8chm7QaAsg-EALw_wcB

[Använd 2021-04-19].

Nordstrand, A. & Jarnehammar, A. (2020). ”Ofta en klimatvinst att byta ut gamla fönster”. *NyTeknik*, 07 September.

<https://www.nyteknik.se/opinion/ofta-en-klimatvinst-att-byta-ut-gamla-fonster-7000513> [Använd 2021-04-19]

Nyströms cement (u.d). *LECA Byggblock*.

<https://www.bauhaus.se/media/pdf/byggblock.pdf> [Använd 2021-05-17].

Offentliga fastigheter (2019). *Energieffektiviserande renovering*.

<https://webbutik.skr.se/sv/artiklar/energieffektiviserande-renovering.html> [Använd 2021-04-19].

Parans, 2021a. *Parans*.

<https://www.parans.com/sv/paransljus/sa-funkar-det/> [Använd 2021-04-12].

Parans, (2021b). *Parans*. <https://www.parans.com/sv/paransljus/anvandningsomraden/> [Använd 2021-04-12].

Paroc (2013). *PAROC XIA 001 Spaceloft*.

<https://www.paroc.se/produkter/byggisolering/universell-byggisolering/paroc-xia-001> [Använd 2021-03-12].

Paroc (2019a). *PAROC eXtra plus*.

<https://www.paroc.se/produkter/byggisolering/universell-byggisolering/paroc-extra-plus> [Använd 2021-04-26].

Paroc (2019b). *PAROC Cortex one*.

<https://www.paroc.se/produkter/byggisolering/isolering-med-vindskydd/paroc-cortex-one> [Använd 2021-04-19].

Paroc (2020a). *PAROC BLT 3*.

<https://www.paroc.se/produkter/byggisolering/losullsisolering-for-byggapplikationer/paroc-blt-3> [Använd 2021-04-27].

Paroc (2021). *PAROC Natura Lana*.

<https://www.paroc.se/produkter/byggisolering/universell-byggisolering/paroc-natura-lana> [Använd 2021-19-04].

Paroc (2018). *PAROC ROS 30*.

<https://www.paroc.se/produkter/byggisolering/isolering-for-laglutande-tak/paroc-ros-30> [Använd 2021-04-27].

Peter Seppel Gesellschaft m.b.H. (2021). *Naturnära cellulosaisolering på högsta nivå*. <https://www.thermofloc.com/sv/cellulosaisolering>

[Använd 2021-04-19].

Pilkington, 2017. *Pilkington*.

<https://www.pilkington.com/svse/se/produkter/funktionsomrade/varmeisolering/pilkington-spacia#broschyren> [Använd 2021-03-26].

Pilkington, 2021. *Pilkington*.

<https://www.pilkington.com/svse/se/produkter/funktionsomrade/varmeisolering/pilkington-spacia#allmnt> [Använd 2021-03-26].

Porextherm, 2018. *Data sheet Vacupor NT-B2-S*.

<https://www.morganthermalceramics.com/media/4113/vacupor-nt-b2-s-data-sheet-english-v2.pdf> [Använd 2021-04-27].

Pressglas, 2019. *Pressglas*.

<https://www.pressglass.com/sv/erbjudande/isolerglas/varmeisoleringsglas/> [Använd 2021-19-04].

RISE (2017). *Renobuild*. <https://renobuild.se/> [Använd 2021-04-19].

Rockwool (2017). *Regelskiva med vindskydd*.

https://www.rockwool.se/produkter/byggisolering/regelskiva-med-vindskydd/?selectedCat=broschyren&fbclid=IwAR0_DJsuRQNTmzLbmwVRbC4e_NzKB40ercGPqWpETX0au8r6g2Mt9lfjSYw [Använd 2021-05-17].

Saint-Gobain Sweden AB ISOVER (2017). *ISOVER Fasadskiva 30*.

<https://www.isover.se/products/isover-fasadskiva-30> [Använd 2021-04-19].

Saint-Gobain Sweden AB (2017). *ISOVER ROBUST Takboard*.

<https://www.isover.se/products/isover-robust-takboard> [Använd 2021-04-27].

Saint-Gobain Sweden AB (2021). *Isolering från Isover*.

<https://www.isover.se/hallbarhet-ochmiljo/enhallbarframtid/isoleringfran-isover> [Använd 2021-02-17].

Saint-Gobain Sweden AB (2021). *ISOVER InsulSafe*.

<https://www.isover.se/products/isover-insulsafer> [Använd 2021-04-27].

Sandin, K (2010). *Praktisk Byggnadsfysik*. 1:5 red. ISBN 9789144059914: Studentlitteratur AB, Lund.

Sweden Green Building Council (2019). *Indikator 1 - beräkningsverktyg*.

<https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/anvandarstod-formiljobyggnad/manualer-och-verktyg-for-certifiering-i-miljobyggnad/> [Använd 2021-07-05].

Shirin, F. & Jayakumar, A., 2020. BREATHE BRICK. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(4).

Skanska Sverige AB (2010). *Inventering och utvärdering av högpresterande isolering*, Göteborg: u.n.

Skanska Sverige AB (2016). *Klimatsmartare att renovera och återanvända betongstommen*. http://betong.se/wp-content/uploads/2016/09/Miljonhemmet_Klimatkalkyl_vid_renovering.pdf [Använd 2021-06-08].

Sundolitt, (2019) *Produktguide*. <https://www.sundolitt.com/globalassets/inriver/resources/sundolitt-produktguide-sept-2019.pdf> [Använd 2021-05-17].

Svenska Aerogel (2020). *Quartzene - Next Generation Aerogel*. <https://www.aerogel.se/quartzene> [Använd 2021-02-22].

Svenska fönster (2020). *LT & G-VÄRDE FÖR VÅRA GLASKOMBINATIONER*. <https://spfonster.se/wp-content/uploads/2020/09/glasvarden-190820.pdf> [Använd 2021-04-12].

Svenskt trä (2017). *Värmeegenskaper*. https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/termiskaegenskaper1/varmeegenskaper/?fbclid=IwAR0_DJsuRQNtmzLbmwVRbC4e_NzKB40ercGPqWpETX0au8r6g2Mt9lfjSYw [Använd 17 05 2021].

Svenskt trä, 2017. *Värmeegenskaper*. https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/termiskaegenskaper1/varmeegenskaper/?fbclid=IwAR0_DJsuRQNtmzLbmwVRbC4e_NzKB40ercGPqWpETX0au8r6g2Mt9lfjSYw [Använd 2021-17-05].

Svenskt trä (2021). *Egenskaper hos barrträ*. <https://www.svensktra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/egenskaper-hos-barrtra/> [Använd 2021-05-17].

Sveriges lantbruksuniversitet (2016). *Abiotiska resurser*. <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/abiotiska-resurser/> [Använd 2021-04-05].

Sweden Green Building Council (2020). *sgbc.se*. <https://www.sgbc.se/app/uploads/2020/05/Milj%C3%B6byggnad-3.1-Nybyggnad.pdf> [Använd 07 05 2021].

Sweden Green Building Council (2021). *Manualer och verktyg för Miljöbyggnad*. <https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/anvandarstod-for-miljobyggnad/manualer-och-verktyg-for-certifiering-i-miljobyggnad/> [Använd 2021-05-07].

Swedish Standards Institute (2017). *Köldbryggor i byggnadskonstruktioner – Linjär värmegenomgångskoefficient – Förenklade metoder och schablonvärden (ISO 14683:2017)*, Utgåva 3: Swedish Standards Institute.

Tegelmäster AB, 2021. *Röd slagen*. Malmö, Tegelmäster AB.

https://tegelmaster.se/produkter/fasadtegel/rod-slagen-2?product_sheet_fasadtegel=9123&fbclid=IwAR00XR3_tjbAOhmfkLWv9hxTLhvNToIPs_nvLxUvQbBjwB8sjmC-DSetYnY [Använd 2021-04-19]

Thermogaia (2018). *Thermogaia*.

<http://www.thermogaia.se/> [Använd 2021-04-08].

Träullit (2013). *Träullit Standard, Teknisk data*.

https://www.traullit.se/wpcontent/uploads/2013/01/Traullit_Standard_Tekniska_data.pdf [Använd 2021-05-17].

WHO Regional Office for Europe, 2005. *Air Quality Guidelines-Global Update 2005*, Danmark, ISBN 9289021926: WHO Regional Office for Europe.

Zhou, Y. o.a., 2020. Liquid ThermoResponsive Smaer Window Deliverd from Hydrogel. *ScienceDirekt*, 4 (Issue 11), pp. 2458-2474.

EPD:er

Aspen Aerogels, (2015). *Spaceloft® Aerogel Insulation*.

<https://www.environdec.com/library/epd725> [Använd 2021-04-28].

Hunton Fiber AS (2020). *Hunton Trefiberisolasjon Plate*.

<https://www.epd-norge.no/isolasjon/hunton-trefiberisolasjon-plate-article2686-321.html>

[Använd 2021-04-28].

Hunton Fiber AS (2020). *Hunton Trefiberisolasjon Innblåst*.

<https://www.epd-norge.no/isolasjon/hunton-trefiberisolasjon-innblast-article2685-321.html> [Använd 2021-04-28].

Paroc (2020c). *PAROC NATURA Stone Wool Thermal Insulation (Lana)*. [Online]

Available at: <https://www.epd-norge.no/isolasjon/paroc-natura-stone-wool-thermal-insulation-lana-article2994-321.html>

[Använd 2021-04-28].

Paroc (2020b). *PAROC Stone Wool Thermal Insulation (eXtra)*.

<https://www.epd-norge.no/isolasjon/paroc-natura-stone-wool-thermal-insulation-lana-article2994-321.html> [Använd 2021-04-28].

Porextherm Dämmstoffe GmbH (2020). *Vakuüm-Isolations-Paneele*.

<https://epd-online.com/> [Använd 2021-05-03].

Saint-Gobain Sweden AB (2017) *ISOVER UNI-skiva 33*.

<https://www.isover.se/products/isover-uni-skiva-33> [Använd 2021-04-28].

Saint-Gobain Sweden AB (2020). *ISOVER Insulsafe*. <https://www.epd-norge.no/isolasjon/isover-insulsafe-article2481-321.html>

[Använd 2021-04-28].

Bilagor

Bilaga A: Miljöpåverkan skivisolering.

Bilaga B: Miljöpåverkan lösull.

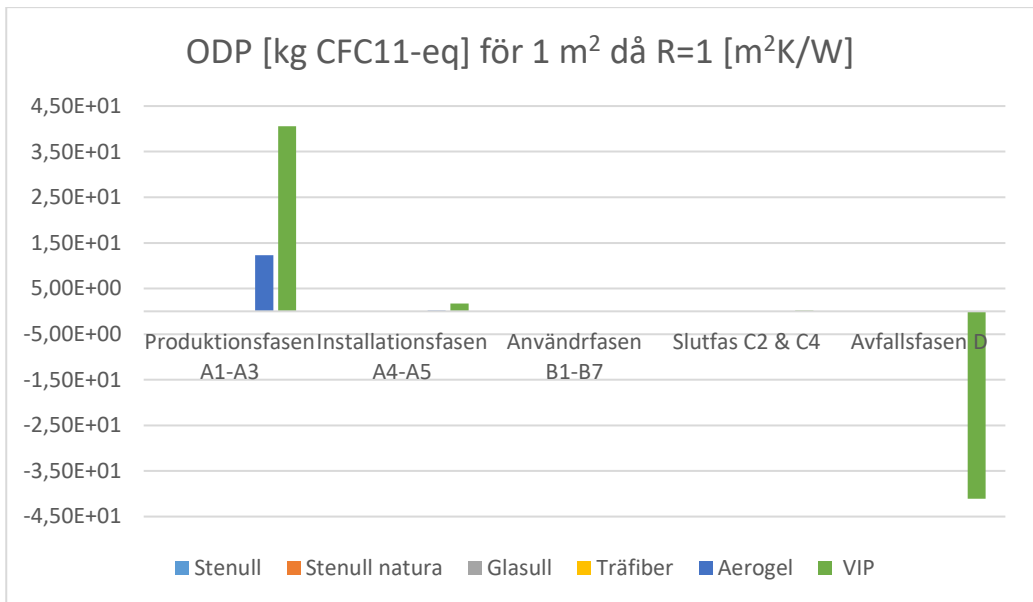
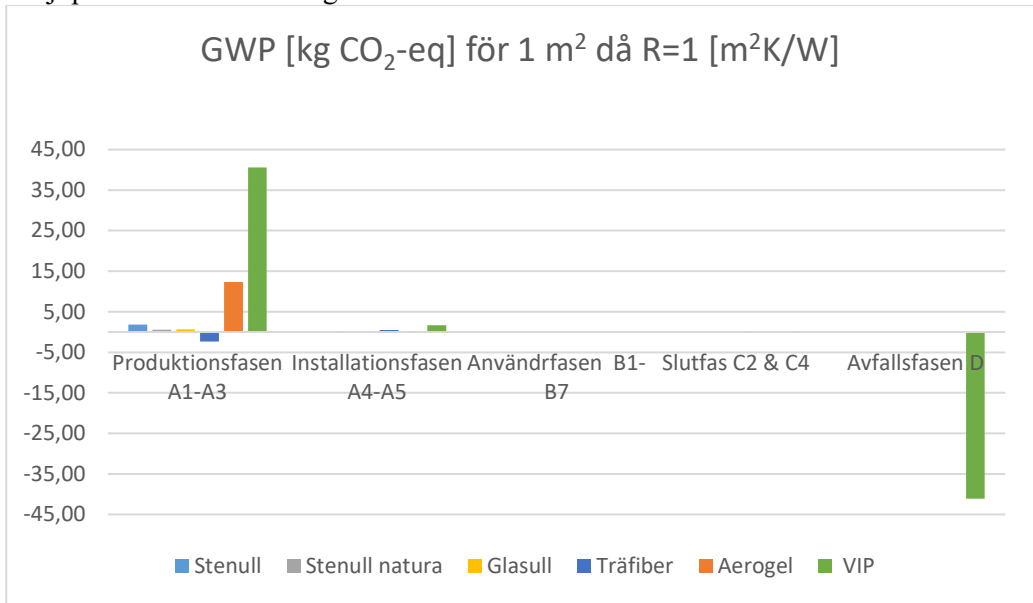
Bilaga C: Miljöpåverkan taksivor.

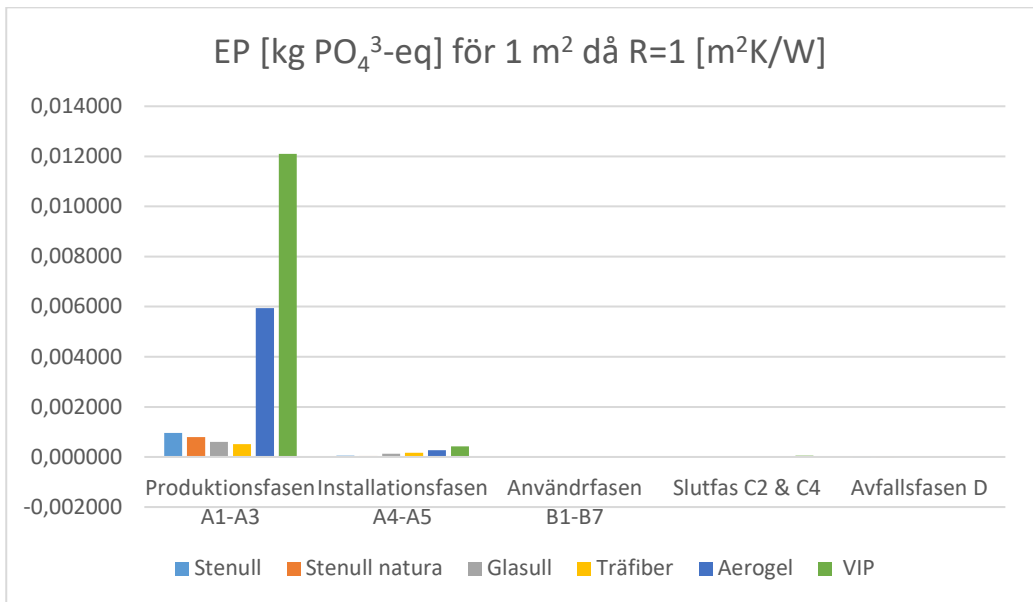
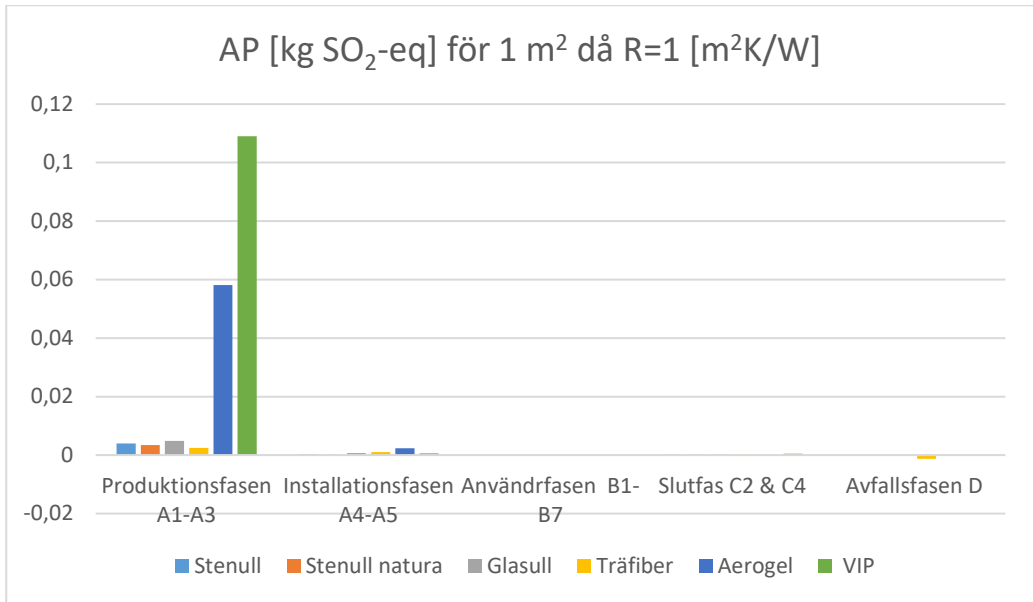
Bilaga D: Indikator 1 för alla fall.

Bilaga E: Dagsljusfaktor för kritiska zoner för alla fall.

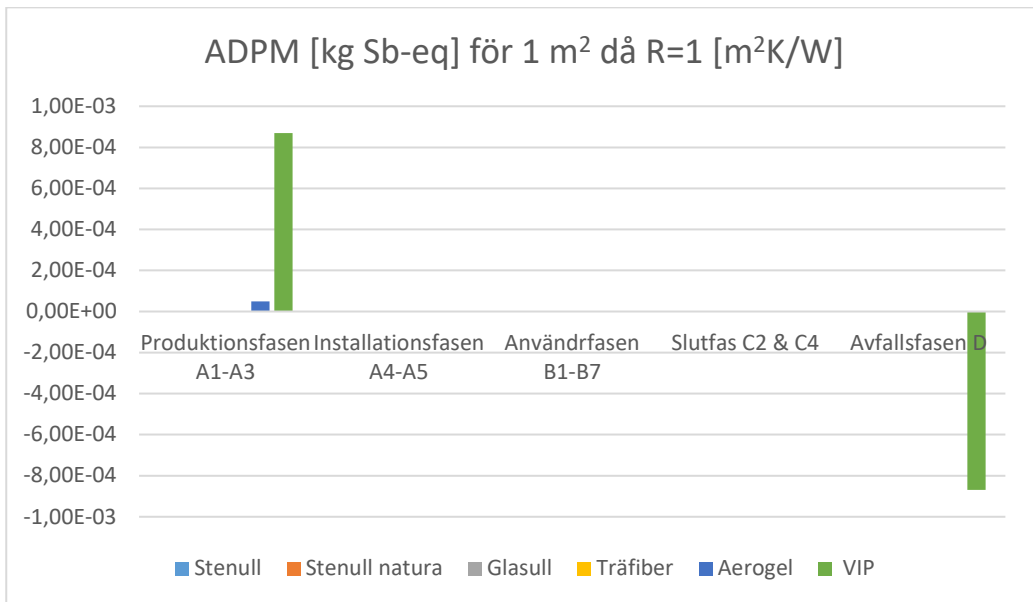
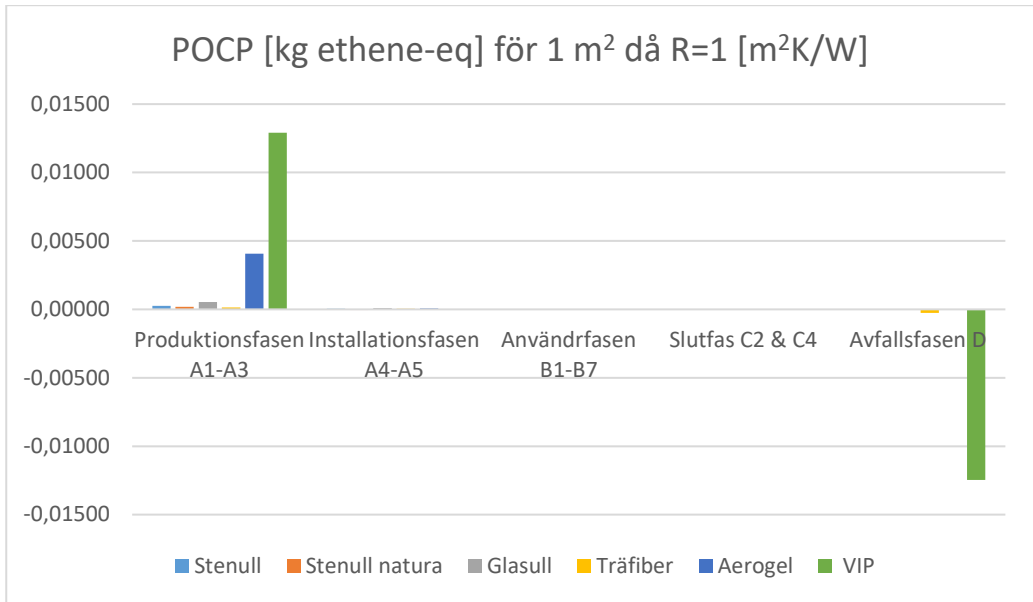
Bilaga A

Miljöpåverkan skivisolering

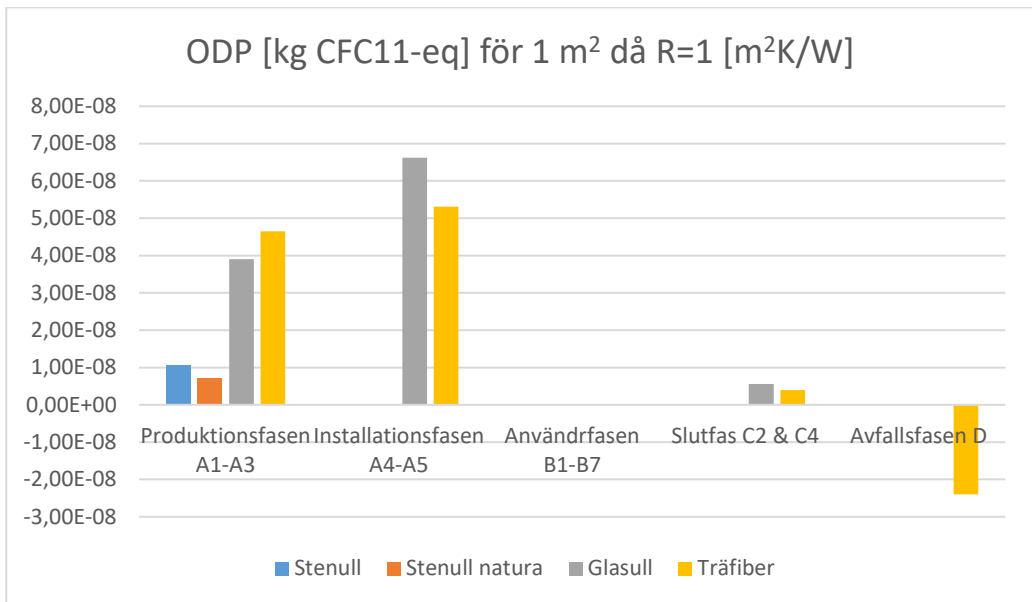
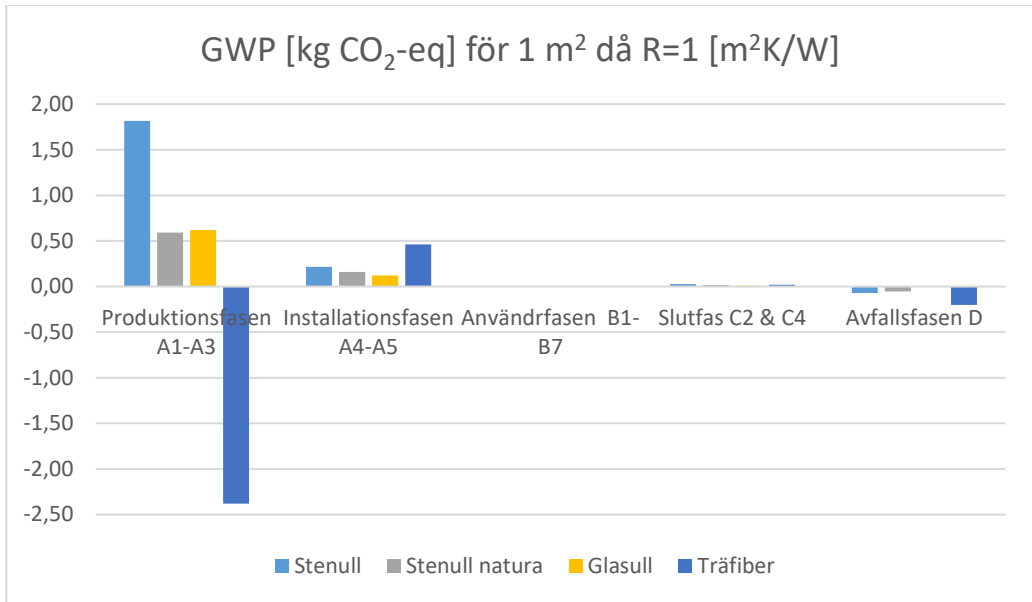




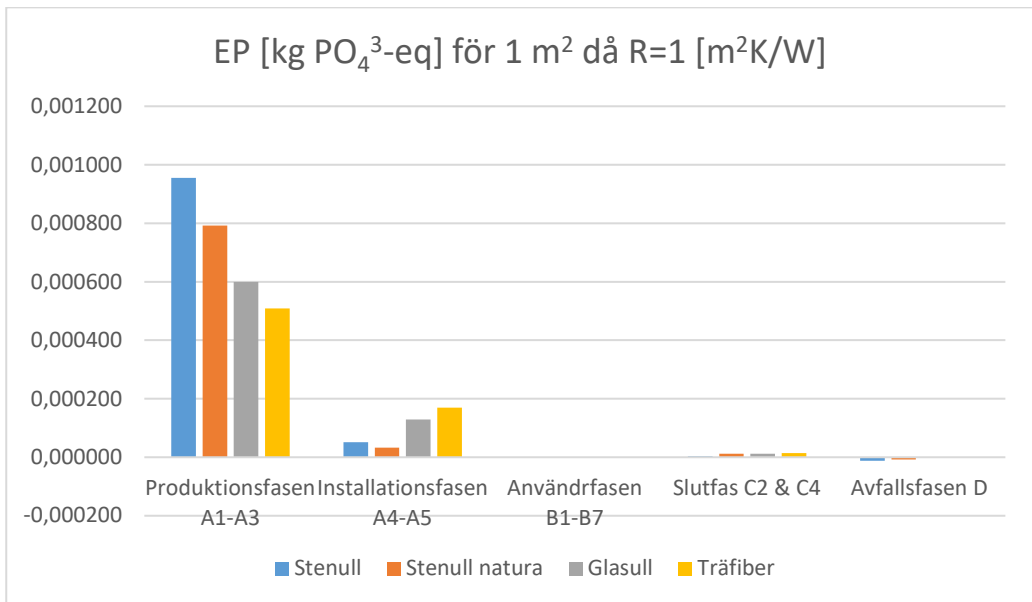
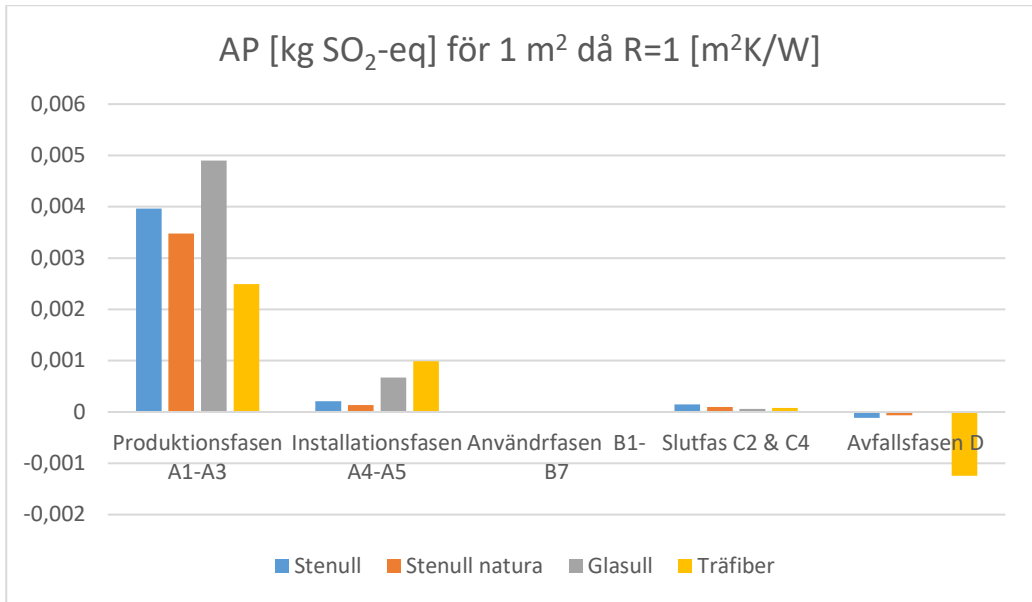
Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

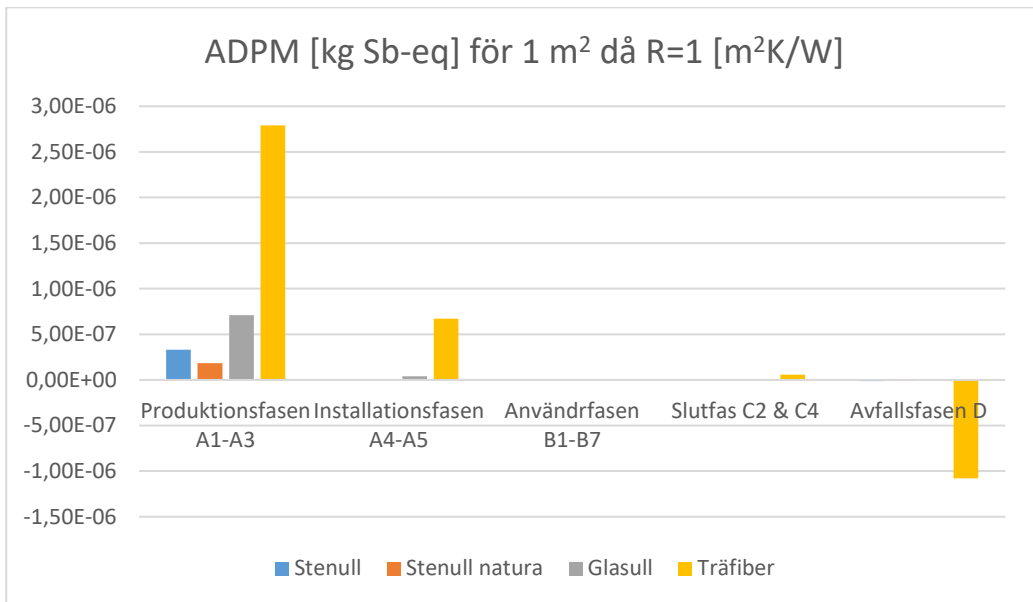
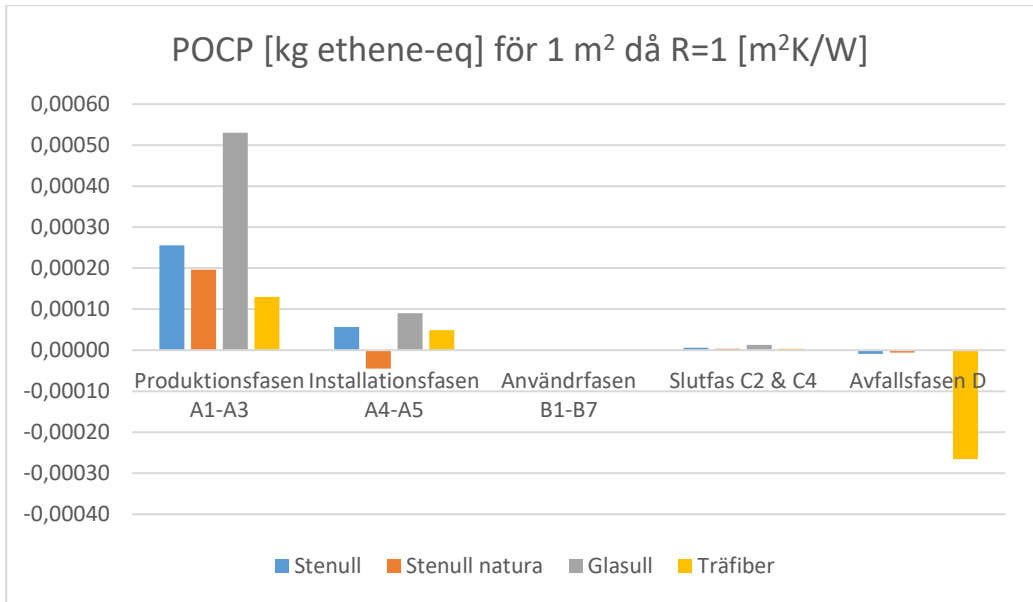


Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

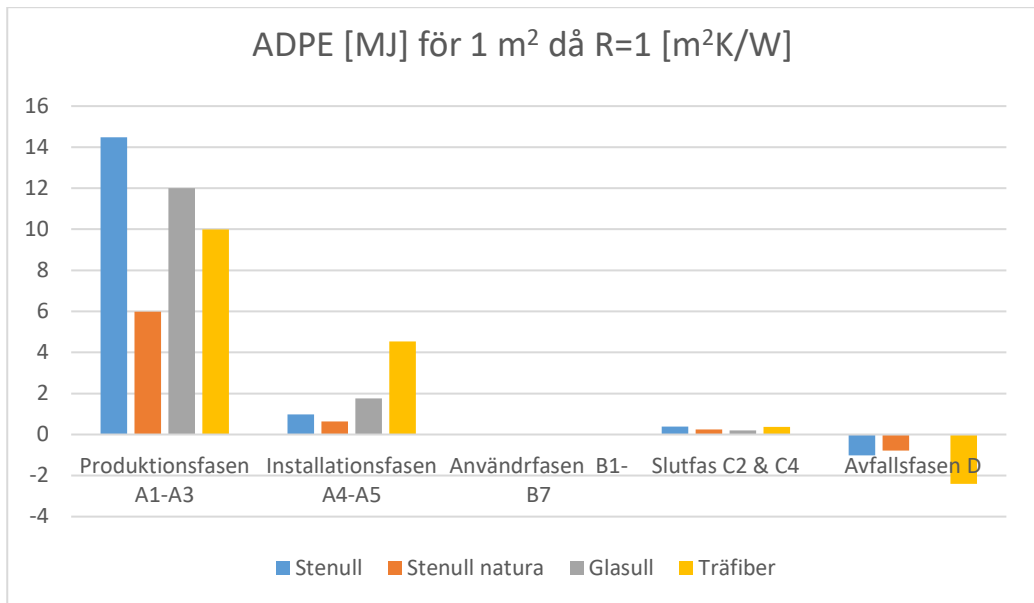


Miljösmart renovering av kontorsbyggnad





Miljösmart renovering av kontorsbyggnad



Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

Resursanvändning	Produktionsfasen A1-A3	Installationsfasen A4-A5	Användarfasen B1-B7	Slutfas C2 & C4	Avfallsfasen D	Totalt
Stenull						
TPE [MJ]	9,4856	0,0553374		0,0406972	-0,26128	9,3203546
TRPE [MJ]	8,9744	0,918598		0,347332	-1,33622	8,90411
SM [kg]						0
RSF [MJ]						0
NRSF						0
W	0,024566	0,000432816		7,55014E-05	-0,00030246	0,024771857
Stenull Natura						
TPE [MJ]	3,51	0,04283		0,03182	-0,165	3,41965
TRPE [MJ]	8,96	0,6916		0,2776	-0,876	9,0532
SM [kg]	0,0517					0,0517
RSF [MJ]						0
NRSF						0
W	0,00864	0,0003397		0,00006246	-0,000194	0,00884816
Glasull						
TPE [MJ]	3,80E+00	0,232		0,003136		4,035136
TRPE [MJ]	1,80E+01	2,15		0,195		20,345
SM [kg]	4,30E-01	0,02100019		0		0,45100019
RSF [MJ]						0
NRSF						0
W	1,27E-02	0,000809		0,00013911		0,01364811
Aerogel						
TPE [MJ]	1,76E+01	3,26E-02				17,6326
TRPE [MJ]	2,39E+02	2,92E+00				241,92

Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

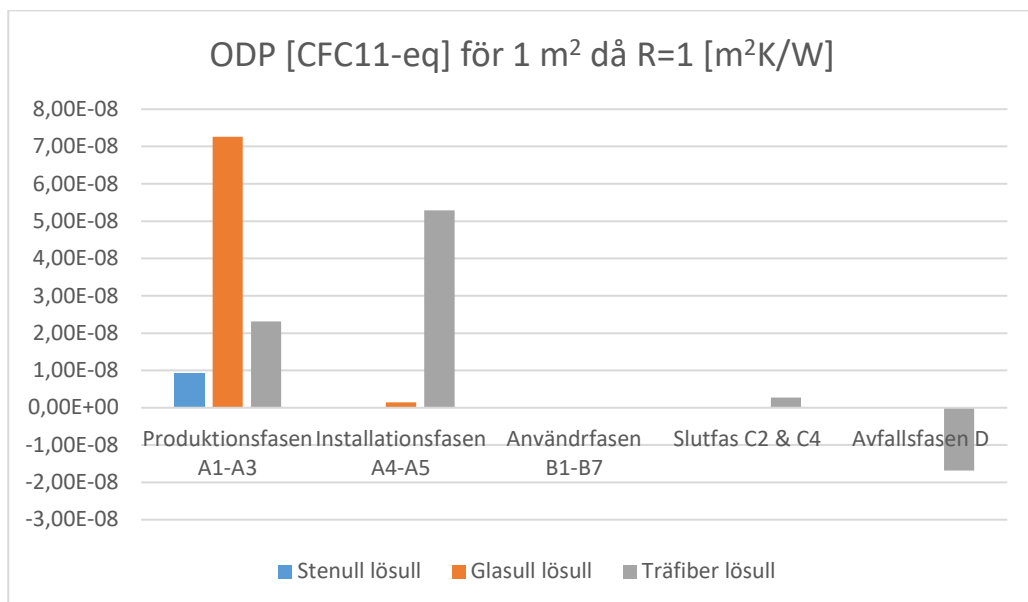
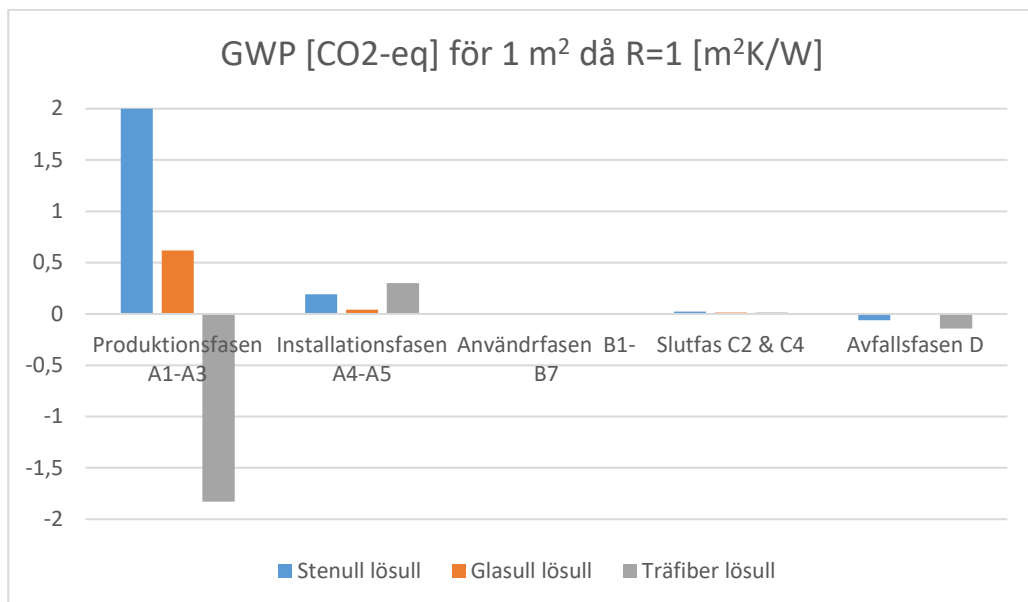
SM [kg]						0
RSF [MJ]	1,06E-01	8,71E-04				0,106871
NRSF						0
W	0,0679	5,79E-04				0,068479
Träfiber						
TPE [MJ]	5,81E+01	1,2535		0,003586	-18,8	40,557086
TRPE [MJ]	1,23E+01	4,664		0,33037	-3,05	14,24437
SM [kg]						0
RSF [MJ]					-1,16E-03	-0,00116
NRSF						0
W	9,60E-03	0,001145		0,00007066	-1,78E-03	0,00903566
VIP						
TPE [MJ]	396,67	0,08		0,12	-1831,8	-1434,93
TRPE [MJ]	679,78	0,69		2,27	635,96	1318,7
SM [kg]						0
RSF [MJ]						0
NRSF						0
W	0,41				-0,34	0,07

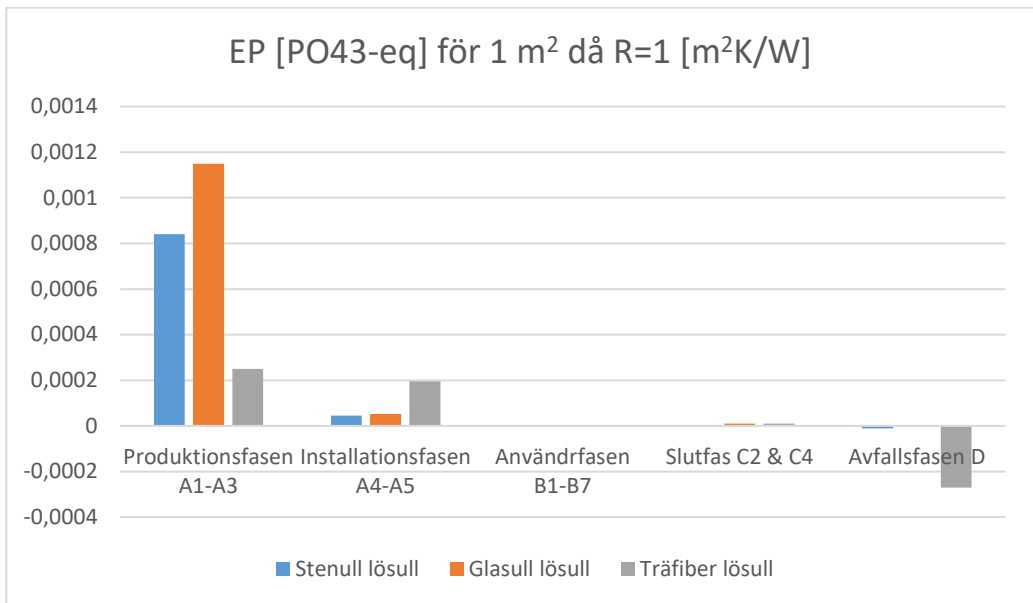
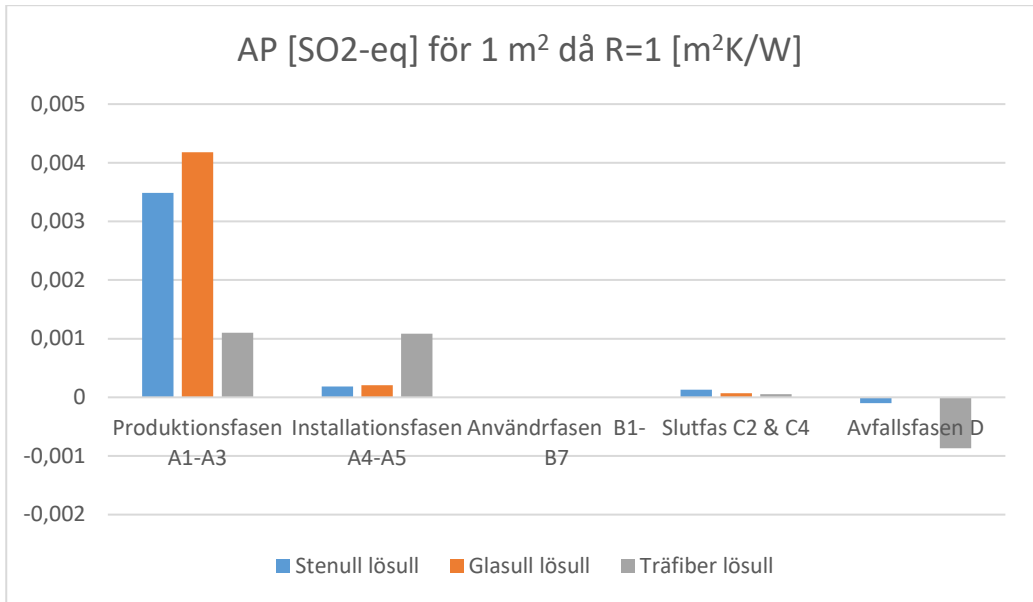
Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

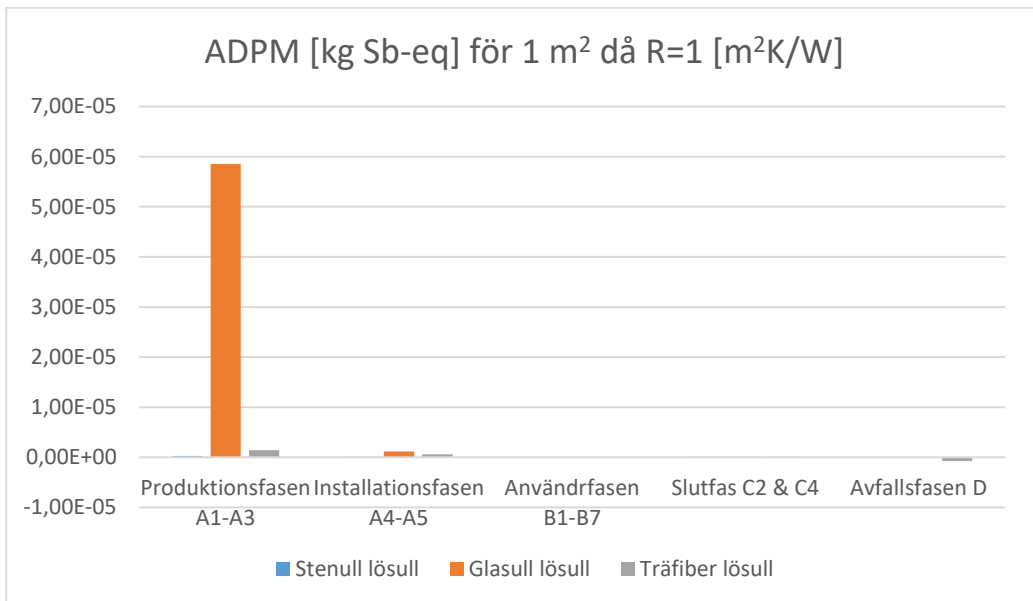
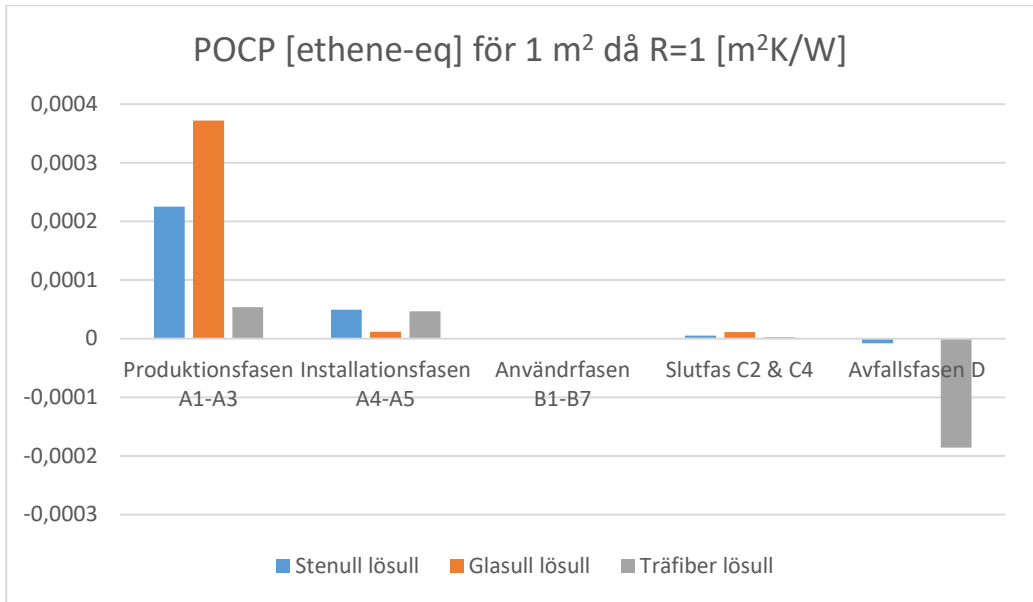
Avfall	Produkt-ionsfasen A1-A3	Installations-fasen A4-A5	Användar-fasen B1-B7	Slutfas C2 & C4	Avfallsfasen D	Totalt
Stenull						
HW [kg]	2,91E-08	5,31354E-08		8,6194E-09	-4,76E-01	-4,76E-01
NHW [kg]	0,34932	0,001032908		1,505205609	-0,0004828	1,86E+00
RW [kg]	8,78E-05	1,60E-06		4,46718E-06	-9,34E-05	3,92E-07
Stenull Natura						
HW [kg]	1,02E-08	2,90151E-08		5,16E-09	-3,47E-01	-3,47E-01
NHW [kg]	0,296	0,000645		1,00000698	-0,000411	1,30E+00
RW [kg]	8,36E-06	0,000001461		2270000	-6,27E-05	2,27E+06
Glasull						
HW [kg]	0,033	0,001737		0,0000643		3,48E-02
NHW [kg]	0,27	0,055		0,7900062		1,12E+00
RW [kg]	5,40E-05	0,0000217		0,000002		7,77E-05
Aerogel						
HW [kg]	9,14E-02	0				9,14E-02
NHW [kg]	5,96E-03	0				5,96E-03
RW [kg]	0	0				0,00E+00
Träfiber						
HW [kg]	1,03E-05	0,000002882		2,0668E-07	-3,07E-06	1,03E-05
NHW [kg]	3,64E-01	0,3724		0,0681	-1,13E-01	6,92E-01
RW [kg]	4,03E-05	0,00003037		2,2197E-06	-1,72E-05	5,57E-05
VIP						
HW [kg]	0,00000597	1,2362E-08		1,3165E-08	-5,82626E-06	1,69E-07
NHW [kg]	1,02E+01	0,0076767		4,280195	-10,20566	4,28E+00
RW [kg]	2,24E-02	0,00000929		0,00001083	-0,022643	-2,23E-04

Bilaga B

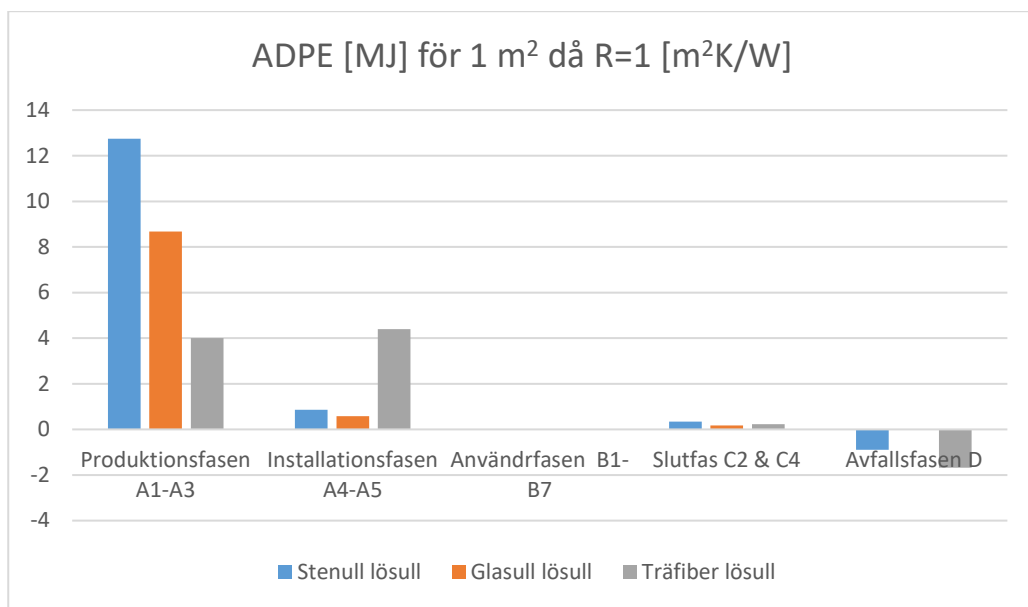
Miljöpåverkan lösull







Miljösmart renovering av kontorsbyggnad



Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

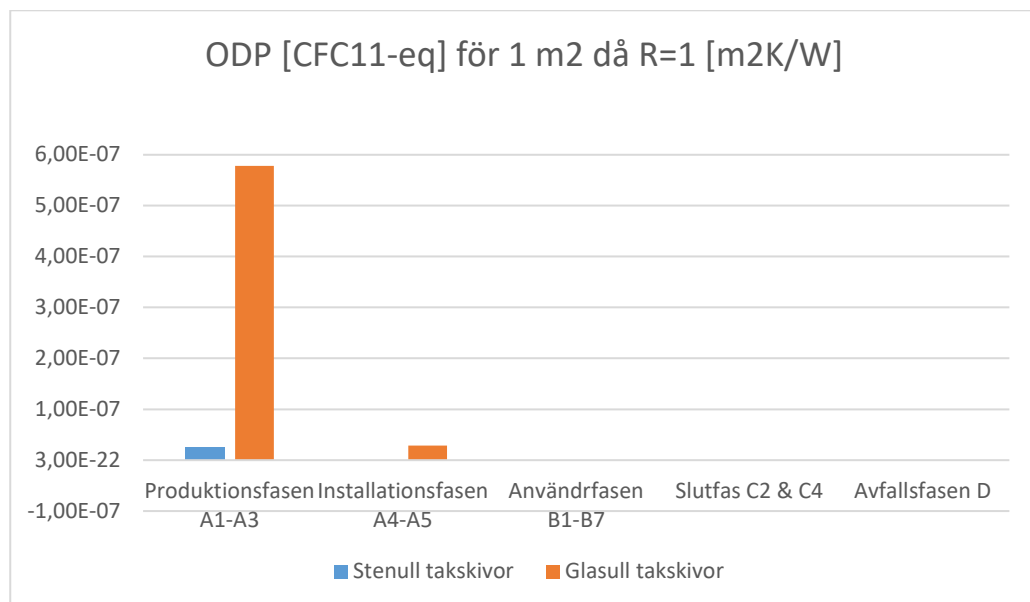
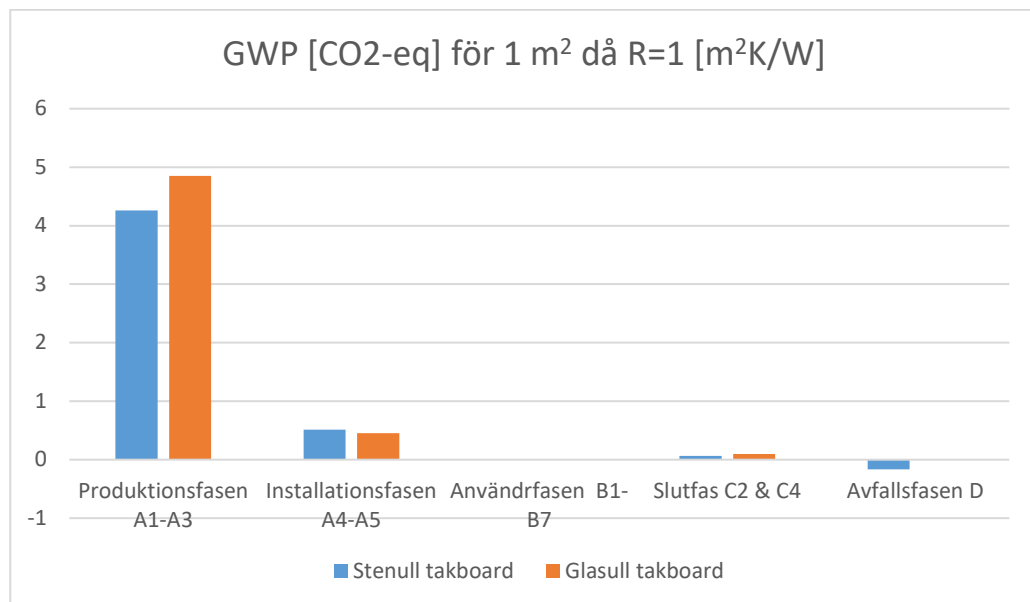
Resurs-användning	Produktions-fasen A1-A3	Installations-fasen A4-A5	Användar-fasen B1-B7	Slutfas C2 & C4	Avfallsfasen D	Totalt
Stenull lösull						
TPE [MJ]	8,35	0,0487125		0,035825	-0,23	8,2045375
TRPE [MJ]	7,9	0,808625		0,30575	-1,17625	7,838125
SM [kg]						0
RSF [MJ]						0
NRSF						0
W	0,021625	0,000381		6,64625E-05	-0,00026625	0,021806213
Glasull lösull						
TPE [MJ]	1,30E+01	0,6				13,6
TRPE [MJ]	9,80E+00	0,61				10,41
SM [kg]	3,82E-01	0,0076				0,3896
RSF [MJ]						0
NRSF						0
W	1,41E-02	0,0002828				0,0143828
Träfiber lösull						
TPE [MJ]	3,61E+01	0,7563		0,002482	-13,2	23,658782
TRPE [MJ]	5,15E+00	4,498		0,2262	-2,14	7,7342
SM [kg]						0
RSF [MJ]					-8,08E-04	-0,000808
NRSF						0
W	5,96E-03	0,00103		0,0000537	-1,24E-03	0,0058037

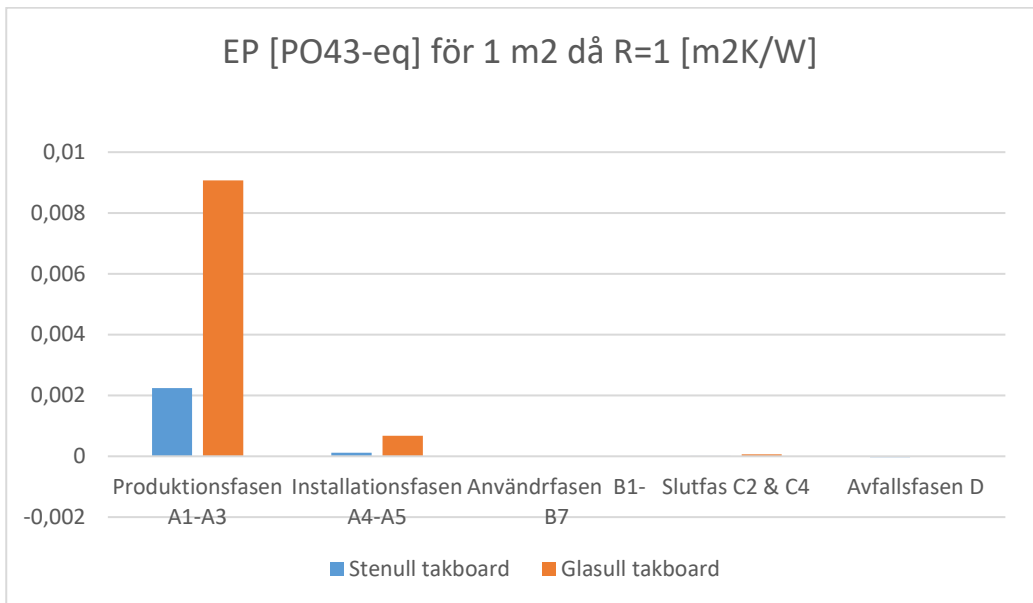
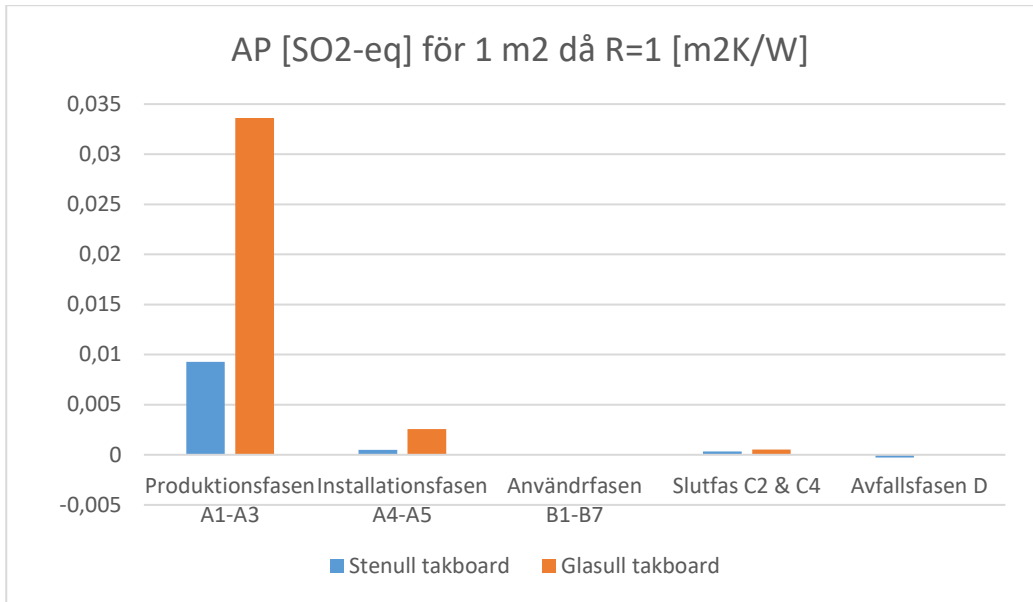
Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

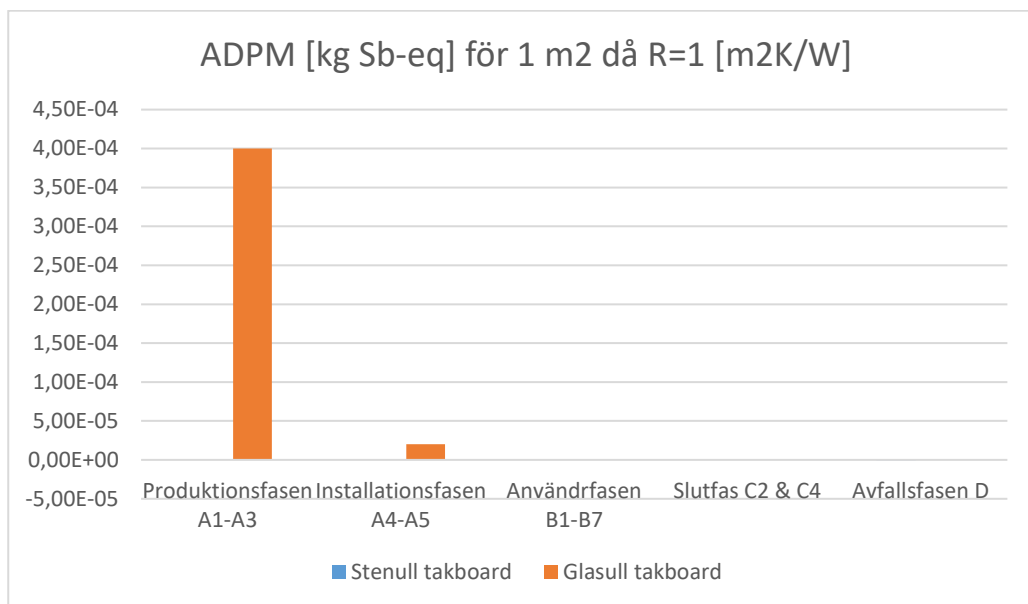
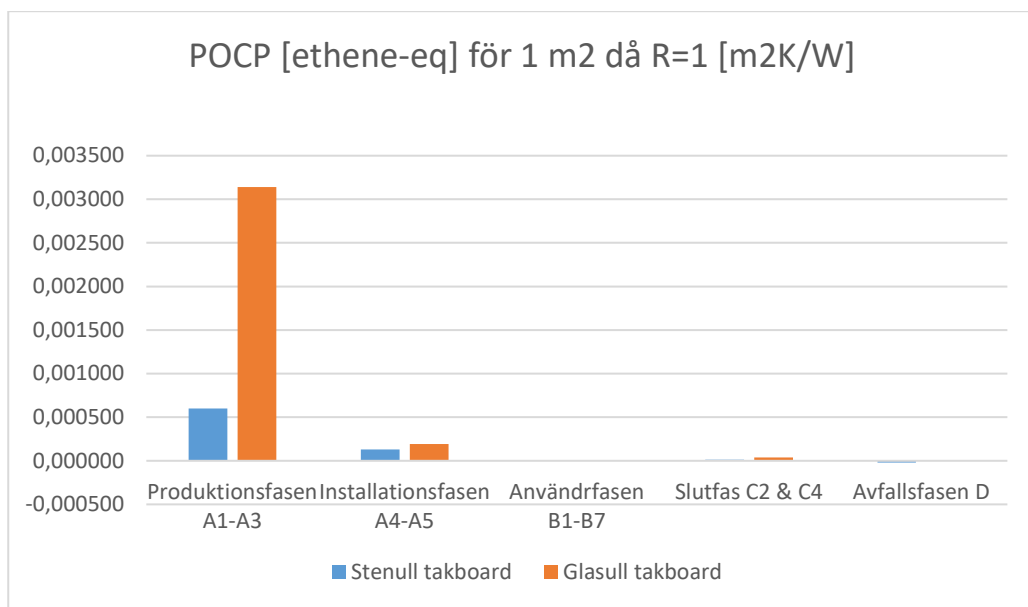
Avfall	Produktionsfasen A1-A3	Installationsfasen A4-A5	Användarfasen B1-B7	Slutfas C2 & C4	Avfallsfasen D	Totalt
Stenull lösull						
HW [kg]	2,56E-08	4,67741E-08		7,5875E-09	-4,19E-01	-4,19E-01
NHW [kg]	0,3075	0,00090925		1,325004938	-0,000425	1,63E+00
RW [kg]	7,73E-05	1,41E-06		3,93238E-06	-8,23E-05	3,45E-07
Glasull lösull						
HW [kg]	2,70E-08	1,956E-09		2,508E-09		3,15E-08
NHW [kg]	2,44E-02	0,01390449		0,642000559		6,80E-01
RW [kg]	8,51E-06	0,000000652		1,8782E-06		1,10E-05
Träfiber lösull						
HW [kg]	5,42E-06	0,000002718		1,396E-07	-2,15E-06	6,13E-06
NHW [kg]	1,95E-01	0,3587		0,0775	-7,92E-02	5,52E-01
RW [kg]	2,06E-05	0,00003006		1,5164E-06	-1,21E-05	4,01E-05

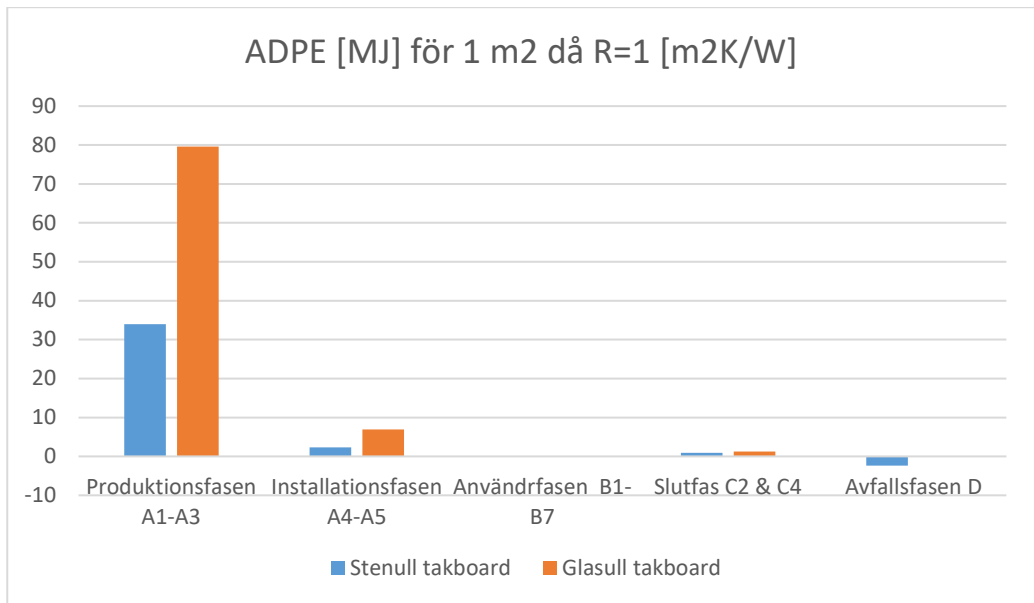
Bilaga C

Miljöpåverkan för takskivor









Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

Resursanvändning	Produktionsfasen A1-A3	Installationsfasen A4-A5	Användarfasen B1-B7	Slutfas C2 & C4	Avfallsfasen D	Totalt
Stenull takskiva						
TPE [MJ]	22,2444	0,1297701		0,0954378	-0,61272	21,8568879
TRPE [MJ]	21,0456	2,154177		0,814518	-3,13353	20,880765
SM [kg]						0
RSF [MJ]						0
NRSF						0
W	0,057609	0,001014984		0,000177056	-0,00070929	0,05809175
Glasull takskiva						
TPE [MJ]	8,95E+01	4,592		1,3		95,392
TRPE [MJ]	8,83E+01	7,3		1,3		96,9
SM [kg]	2,59	0,13				2,72
RSF [MJ]	0					0
NRSF						0
W	1,15E-01	0,005821		0,0002626		0,1210836

Miljösmart renovering av kontorsbyggnad

Resursanvändning	Produktionsfasen A1-A3	Installationsfasen A4-A5	Användarfasen B1-B7	Slutfas C2 & C4	Avfallsfasen D	Totalt
Stenull taksquivor						
HW [kg]	6,83E-08	1,24606E-07		2,02131E-08	-1,12E+00	-1,12E+00
NHW [kg]	0,81918	0,002422242		3,529813154	-0,0011322	4,35E+00
RW [kg]	2,06E-04	3,76E-06		1,04758E-05	-2,19E-04	9,19E-07
Glasull taksquivor						
HW [kg]	1,87E-07	2,053E-08		1,839E-08		2,26E-07
NHW [kg]	1,66E-01	0,2540329		4,73000411		5,15E+00
RW [kg]	6,94E-05	0,00000752		0,000013855		9,08E-05

Bilaga D

Indikator 1

Indikator 1 Värmeeffektbehov i nyproducerad byggnad

Miljöbyggnad MB3

Version 191001

170919 Rättat felvisning av DVUT

171117 Rättat hantering av kompressoreffekt. Och kompletterat med byggnadsdel mot t ex ej helt uppvärmt garage.

180222 Ruta för att ange temperaturfall över FVP:s förångare

191001 Uppdaterad Fgeo

Byggnad	Trelleborg Energi AB
Eventuell kommentar	Befintlig byggnad



Beräknat värmeeffektbehov $W/m^2 A_{om}$	32,9	Ej Brons
--	------	----------

Areor och klimat	
A_{temp} , m ²	2067,5
Andel bostäder av A_{temp} i %	0%
Andel lokaler av A_{temp} i %	100%
F_{geo} - se filik	0,9
Omslutningsarea, obs A_{om} , m ²	4109
Inomhustemperatur, °C	20
Klimator	Trelleborg
Tidskonstant, dygn	1
DVUT, °C	-10,3
Värmeeffektbehov /m ² A_{temp}	65,4

Gränser för den aktuella byggnaden. Beror på andel bostäder och lokaler och aktuell F_{geo} .

BRONS	SILVER	GULD
27,0	21,6	16,2

Enligt manual MB3 nyproduktion, $W/m^2 A_{om}$

Indikator 1	BRONS	SILVER	GULD
Bostäder	$\leq 25 * F_{geo}$	$\leq 20 * F_{geo}$	$\leq 15 * F_{geo}$
Lokalbyggnader	$\leq 30 * F_{geo}$	$\leq 24 * F_{geo}$	$\leq 18 * F_{geo}$

Transmissionsförluster		
Byggnadsdel	Delarea m ²	U-värde W/K,m ²
Fönster	168,36	1,24
Träull-Betong-Tegel	52,17	1,22
Tegel-Tegel	151,94	1,27
Puts-Byggblock-Tegel	52,2	0,75
Betong-Iso-Tegel	458,03	0,2
Puts-Byggblock-Puts	19,29	0,86
Tegel-Iso-Tegel	480,95	0,4
Massivt tak	461	3,21
Tak, kallvind	481,76	0,13
Tak, kallvind plåt	313,68	0,13
Grund	1234,5	0,09
Källarväggar	187,93	0,28
Ytterdörr	38,82	1,38
	0	0
	0	0
	8	0
	0	0
	0	0
	0	0

Ventilationsförluster för FTX	
FTX aggregat typ 1	
Luftflöde, l/s	930
Temperaturverkningsgrad	81%
FTX aggregat typ 2	
Luftflöde, l/s	470
Temperaturverkningsgrad	40%
FTX aggregat 4	
Luftflöde, l/s	0
Temperaturverkningsgrad	0%

Ventilationsförluster om F el FVP finns	
Frånluftslöde, l/s	170
Frånluftens temperaturfall FVP	0
VP:s kompressoreffekt i W	0

Luftläckage genom klimatskärmen	
Lufttäthet, l/s,m ² A_{om} vid 50 Pa	0,9
Luftläckageflöde, l/s	184,9

Köldbryggor		
Om köldbryggor anges i %:		33,6%
Om köldbryggor specificeras:	Längd, m	psi, W/m,K
Bjälagskanter	0	0
Sockel	0	0
Tak-yttervägg	0	0
Fönstersmygar	0	0
	0	0
	0	0

U_{medel} för kontroll, $W/m^2 A_{om}/K$	0,847
--	-------

Indikator 1 Värmeeffektbehov i nyproducerad byggnad

Miljöbyggnad MB3

Version 191001

170919 Rättat felvisning av DVUT

171117 Rättat hantering av kompressoreffekt. Och kompletterat med byggnadsdel mot t ex ej helt uppvärmt garage.

180222 Ruta för att ange temperaturfall över FVP:s förångare

191001 Uppdaterad Fgeo



Byggnad	Trelleborg Energi AB
Eventuell kommentar	Förbättrat klimatskal

Beräknat värmeeffektbehov $W/m^2 \cdot A_{om}$	13,7	GULD
--	------	------

Areor och klimat	
A_{temp} , m ²	2067,5
Andel bostäder av A_{temp} i %	0%
Andel lokaler av A_{temp} i %	100%
F_{geo} , se flik	0,9
Omslutningsarea, obs A_{om} , m ²	4102
Inomhustemperatur, °C	20
Klimatort	Trelleborg
Tidskonstant, dygn	1
DVUT, °C	-10,3
Värmeeffektbehov $/m^2 A_{temp}$	27,2

Gränser för den aktuella byggnaden. Beror på andel bostäder och lokaler och aktuell F_{geo} .

BRONS	SILVER	GULD
27,0	21,6	16,2

Enligt manual MB3 nyproduktion, $W/m^2 \cdot A_{om}$

Indikator 1	BRONS	SILVER	GULD
Bostäder	$\leq 25 \cdot F_{geo}$	$\leq 20 \cdot F_{geo}$	$\leq 15 \cdot F_{geo}$
Lokalbyggnader	$\leq 30 \cdot F_{geo}$	$\leq 24 \cdot F_{geo}$	$\leq 18 \cdot F_{geo}$

Transmissionsförluster		
Byggnadsdel	Delarea m ²	U-värde W/K,m ²
Fönster	168,36	0,7
Träull-Betong-Tegel	52,17	0,18
Tegel-Tegel	151,94	0,18
Puts-Byggblock-Tegel	52,2	0,18
Betong-Iso-Tegel	458,03	0,18
Puts-Byggblock-Puts	19,29	0,18
Tegel-Iso-Tegel	480,95	0,18
Massivt tak	461	0,13
Tak, kallvind	481,76	0,1
Tak, kallvind plåt	313,68	0,1
Grund	1235,86	0,09
Källarväggar	187,93	0,28
Ytterdörr	38,82	0,9
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0

Ventilationsförluster för FTX	
FTX aggregat typ 1	
Luftflöde, l/s	930
Temperaturverkningsgrad	81%
FTX aggregat typ 2	
Luftflöde, l/s	470
Temperaturverkningsgrad	40%
FTX aggregat 4	
Luftflöde, l/s	0
Temperaturverkningsgrad	0%

Ventilationsförluster om F el FVP finns	
Frånluftsföde, l/s	170
Frånluftens temperaturfall FVP	0
VP:s kompressoreffekt i W	0

Luftläckage genom klimatskärmen	
Lufttätethet, l/s,m ² A _{om} vid 50 Pa	0,9
Luftläckageflöde, l/s	184,6

Köldbryggor		
Om köldbryggor anges i %:		30,0%
Om köldbryggor specificeras:	Längd, m	psi, W/m,K
Bjäklagskanter	0	0
Sockel	0	0
Tak-yttervägg	0	0
Fönstersmygar	0	0
	0	0
	0	0

U_{medel} för kontroll, $W/m^2 \cdot A_{om}/K$	0,214
--	-------

Indikator 1 Värmeeffektbehov i nyproducerad byggnad

Miljöbyggnad MB3

Version 191001

170919 Rättat felvisning av DVUT

171117 Rättat hantering av kompressoreffekt. Och kompletterat med byggnadsdel mot t ex ej helt uppvärmt garage.

180222 Ruta för att ange temperaturfall över FVP:s förångare

191001 Uppdaterad Fgeo



Byggnad	Trelleborg Energi AB
Eventuell kommentar	Alla förbättringar

Beräknat värmeeffektbehov $W/m^2 A_{om}$	10,9	GULD
--	------	------

Areor och klimat	
A_{temp} , m ²	2067,5
Andel bostäder av A_{temp} i %	0%
Andel lokaler av A_{temp} i %	100%
F_{geo} , se filik	0,9
Omslutningsarea, obs A_{om} , m ²	4102
Inomhustemperatur, °C	21
Klimatort	Trelleborg
Tidskonstant, dygn	1
DVUT, °C	-10,3
Värmeeffektbehov $/m^2 A_{temp}$	21,6

Gränser för den aktuella byggnaden. Beror på andel bostäder och lokaler och aktuell F_{geo} .

BRONS	SILVER	GULD
27,0	21,6	16,2

Enligt manual MB3 nyproduktion, $W/m^2 A_{om}$

Indikator 1	BRONS	SILVER	GULD
Bostäder	$\leq 25 * F_{geo}$	$\leq 20 * F_{geo}$	$\leq 15 * F_{geo}$
Lokalbyggnader	$\leq 30 * F_{geo}$	$\leq 24 * F_{geo}$	$\leq 18 * F_{geo}$

Transmissionsförluster		
Byggnadsdel	Delarea m ²	U-värde W/K,m ²
Fönster	168,36	0,7
Träull-Betong-Tegel	52,17	0,18
Tegel-Tegel	151,94	0,18
Puts-Byggblock-Tegel	52,2	0,18
Betong-Iso-Tegel	458,03	0,18
Puts-bByggblock-Puts	19,29	0,18
Tegel-Iso-Tegel	480,95	0,18
Massivt tak	461	0,13
Tak, kallvind	481,76	0,1
Tak, kallvind plåt	313,68	0,1
Grund	1235,86	0,09
Källarväggar	187,93	0,28
Ytterdörr	38,82	0,9
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0

Ventilationsförluster för FTX	
FTX aggregat typ 1	
Luftflöde, l/s	485
Temperaturverkningsgrad	81%
FTX aggregat typ 2	
Luftflöde, l/s	700
Temperaturverkningsgrad	81%
FTX aggregat 4	
Luftflöde, l/s	0
Temperaturverkningsgrad	0%

Ventilationsförluster om F el FVP finns	
Frånluftslöde, l/s	170
Frånluftens temperaturfall FVP	0
VP:s kompressoreffekt i W	0

Luftläckage genom klimatskärmen	
Lufttäthet, l/s,m ² A _{om} vid 50 Pa	0,3
Luftläckageflöde, l/s	61,5

Köldbryggor		
Om köldbryggor anges i %:		30,0%
Om köldbryggor specificeras:	Längd, m	psi, W/m,K
Bjälklagskanter	0	0
Sockel	0	0
Tak-yttervägg	0	0
Fönstermyggar	0	0
	0	0
	0	0

U_{medel} för kontroll, $W/m^2 A_{om}/K$	0,214
--	-------

Bilaga E

Dagsljusfaktorn
Befintlig byggnad

Zone	Group	Median daylight factor, %	Avg daylight factor, %	Min daylight factor, %	Max daylight factor, %	UR (daylight factor)
Zone 50		0,5987	1,081	0,3311	4,636	0,3062
Zone 5		0,6147	1,031	0,2557	5,472	0,2481
Zone 51		0,8066	1,395	0,3612	6,951	0,2589
Zone 47		0,8498	1,337	0,3498	4,633	0,2615
Zone 64		0,8581	1,531	0,4308	7,214	0,2815
Zone 48		0,8597	1,376	0,3597	4,418	0,2614
Zone 76		0,8608	1,455	0,3772	6,064	0,2592
Zone 75		0,8686	1,468	0,3879	6,215	0,2642
Zone 53		0,9059	1,568	0,4136	7,199	0,2638
Zone 77		0,9124	1,532	0,4129	6,115	0,2695
Zone 41		0,9212	1,314	0,4395	4,545	0,3346
Zone 40		0,9213	1,312	0,413	4,545	0,3147
Zone 71		0,9234	1,548	0,4087	6,223	0,264
Zone 46		0,9571	1,546	0,5212	4,797	0,3372
Zone 45		0,9826	1,558	0,5109	4,823	0,328
Zone 42		1,01	1,397	0,4929	4,758	0,3529
Zone 38		1,013	1,602	0,5377	6,283	0,3357
Zone 36		1,043	1,531	0,5679	5,451	0,3708
Zone 74		1,062	1,674	0,4893	6,281	0,2923
Zone 85		1,093	1,63	0,5764	6,046	0,3536
Zone 52		1,102	1,874	0,4343	7,073	0,2317
Zone 73		1,139	1,775	0,5228	6,61	0,2946
Zone 83		1,186	1,713	0,5579	6,272	0,3257
Zone 21		1,195	1,745	0,5749	6,674	0,3294
Zone 39		1,314	1,871	0,6883	4,913	0,368
Zone 54		1,327	1,881	0,6298	7,547	0,3348
Zone 81		1,36	1,846	0,6294	4,917	0,3409
Zone 84		1,468	1,962	0,7186	4,814	0,3663
Zone 49		1,479	1,971	0,6832	5,026	0,3466

Förbättrat klimatskal

Zone	Group	Median daylight factor, %	Avg daylight factor, %	Min daylight factor, %	Max daylight factor, %	UR (daylight factor)
Zone 5		0,5563	0,8971	0,2298	4,566	0,2562
Zone 50		0,5891	1,062	0,3258	4,489	0,3068
Zone 51		0,7288	1,215	0,3422	5,859	0,2816
Zone 64		0,7388	1,226	0,3694	5,484	0,3012
Zone 53		0,7835	1,372	0,3867	6,053	0,2819
Zone 47		0,8399	1,314	0,343	4,567	0,2611
Zone 75		0,8676	1,447	0,3896	6,028	0,2693
Zone 76		0,873	1,451	0,3942	5,967	0,2718
Zone 71		0,8855	1,507	0,3757	6,044	0,2493
Zone 41		0,9028	1,286	0,4441	4,453	0,3452
Zone 40		0,9036	1,291	0,4119	4,454	0,3191
Zone 77		0,9118	1,538	0,4099	6,094	0,2666
Zone 48		0,9276	1,451	0,3759	4,589	0,2591
Zone 46		0,9371	1,511	0,5009	4,722	0,3315
Zone 45		0,9571	1,527	0,5153	4,672	0,3375
Zone 42		0,9714	1,337	0,4885	4,505	0,3655
Zone 52		0,9818	1,608	0,3949	5,823	0,2456
Zone 36		1,041	1,499	0,5348	5,361	0,3566
Zone 38		1,044	1,621	0,5396	6,336	0,3329
Zone 74		1,044	1,645	0,4853	6,145	0,2949
Zone 21		1,064	1,515	0,5331	5,585	0,352
Zone 85		1,071	1,595	0,5544	5,906	0,3476
Zone 73		1,095	1,709	0,5005	6,358	0,2929
Zone 54		1,183	1,632	0,5722	6,346	0,3506
Zone 83		1,187	1,704	0,5472	6,195	0,3212
Zone 39		1,311	1,847	0,681	4,829	0,3688
Zone 81		1,355	1,824	0,6197	4,795	0,3398
Zone 84		1,444	1,927	0,6934	4,706	0,3598
Zone 49		1,48	1,971	0,6848	4,928	0,3474

Alla förbättringarna

Zone	Group	Median daylight factor, %	Avg daylight factor, %	Min daylight factor, %	Max daylight factor, %	UR (daylight factor)
Zone 5		0,5498	0,9021	0,2395	4,586	0,2655
Zone 50		0,5952	1,068	0,3306	4,489	0,3095
Zone 51		0,7267	1,209	0,3204	5,811	0,265
Zone 64		0,7351	1,221	0,3608	5,51	0,2956
Zone 53		0,7927	1,369	0,3833	6,085	0,2801
Zone 47		0,8211	1,317	0,3432	4,567	0,2606
Zone 48		0,8287	1,351	0,3342	4,343	0,2474
Zone 75		0,8565	1,435	0,3826	6,027	0,2666
Zone 76		0,8581	1,44	0,371	5,887	0,2576
Zone 41		0,8918	1,281	0,4232	4,443	0,3305
Zone 71		0,8963	1,512	0,383	6,061	0,2533
Zone 77		0,9061	1,521	0,4041	6,081	0,2657
Zone 40		0,927	1,316	0,4218	4,504	0,3205
Zone 46		0,9423	1,51	0,4922	4,694	0,3259
Zone 42		0,9591	1,322	0,4742	4,515	0,3588
Zone 45		0,9632	1,544	0,5073	4,782	0,3285
Zone 52		0,9802	1,606	0,3997	5,845	0,2488
Zone 36		0,9986	1,479	0,5329	5,303	0,3603
Zone 38		1,023	1,603	0,5374	6,202	0,3353
Zone 74		1,046	1,656	0,4772	6,169	0,2881
Zone 21		1,058	1,509	0,5264	5,593	0,3487
Zone 85		1,068	1,597	0,5595	5,874	0,3504
Zone 73		1,088	1,707	0,5136	6,199	0,3008
Zone 54		1,187	1,642	0,5795	6,376	0,3529
Zone 83		1,199	1,719	0,5655	6,236	0,329
Zone 39		1,309	1,845	0,6807	4,846	0,3689
Zone 81		1,344	1,826	0,6349	4,819	0,3477
Zone 84		1,446	1,935	0,7092	4,715	0,3665
Zone 49		1,498	1,98	0,7035	5,026	0,3552